



**Dinâmica num sector distal do Estuário do Tejo com base em  
dados oceanográficos, sedimentológicos e de nanoplâncton  
calcário**

Rita Guerra Santos

**Mestrado em Ciências do Mar**

Dissertação orientada por:  
Prof. Doutor Mário Albino Pio Cachão  
Doutora Anabela Tavares Campos Oliveira

## Agradecimentos

Quero agradecer em primeiro lugar aos meus pais todo o apoio, incentivo e confiança que depositaram em mim na concretização desta dissertação, sem eles não teria conseguido concretizar este sonho. À minha família agradeço todo o apoio que me deram, que sem dúvida possibilitou a minha chegada até aqui.

Aos meus orientadores, Mário Cachão e Anabela Oliveira, agradeço a oportunidade que me deram para realizar esta dissertação. Desde o início que sabíamos que não iria ser fácil, foi um misto de emoções, alguns dados confusos e menos bons, mas sempre me disseram que iria dar a volta por cima e que iria conseguir.

À minha amiga Liliana Oliveira um especial agradecimento por me ter acompanhado neste capítulo da minha vida e, que apesar da distância me apoiou ao máximo não havendo palavras para o descrever. Ao Miguel Brilhante agradeço toda a força e apoio. Um muito obrigado à Lurdes Fonseca pelo seu apoio e incentivo neste mundo que desconhecia do nanoplâncton calcário e à Laura Reis por todas as nossas conversas e cafés durante este mestrado. Perto ou longe todos vocês me apoiaram e, me deram forças para continuar, nem sempre foi fácil, mas cheguei ao fim e vocês fizeram parte deste meu percurso.

Um especial agradecimento à Helena Frazão por ter estado sempre do meu lado, nos momentos bons e maus, pelas nossas longas conversas e cafés. Nesta fase final fostes uma ajuda preciosa, sem ti não teria sido fácil, não há palavras para agradecer.

À Ana Santos, do Instituto Hidrográfico quero agradecer todas as explicações que me deu sobre os métodos envolvidos neste estudo e, pela sua disponibilidade para me tirar dúvidas.

Quero ainda agradecer à D<sup>a</sup> Hilda Pablo e ao professor doutor Ramiro Neves pela ajuda e tempo dispensado na interpretação da circulação na zona em estudo. Ao doutor Jorge Ferreira agradeço a ajuda dada na identificação de certas espécies inicialmente classificadas como indeterminadas.

À Paula Melo e Albano Santos um especial agradecimento pela força e ajuda que me deram nesta fase final e, especialmente pelo ânimo transmitido. À Susana Mota pelo apoio que me deu nesta reta final, acreditou que iria conseguir e sempre me disse que havia uma luz ao fundo do túnel.

Por fim quero agradecer ao Instituto Hidrográfico que permitiu que a minha dissertação tivesse por base amostragens realizadas durante a campanha SEDEX 2015 e pela disponibilização dos mesmos.

## Resumo

A presente dissertação foi realizada com base em dados obtidos por métodos diretos e indiretos durante um ciclo de maré numa estação fixa no estuário do Tejo perto da desembocadura da ribeira do Jamor, no dia 12 de novembro de 2015, a bordo do navio NRP Andrómeda, no âmbito do projeto SEDEX 2015 do Instituto Hidrográfico. Este estudo teve por base dados oceanográficos, sedimentológicos e de nanoplâncton calcário permitindo a análise da coluna de água e dos sedimentos de fundo (nível 0-2 cm e nível 2-4 cm) que por sua vez possibilitou caracterizar a dinâmica do mesmo.

Analisaram-se vários parâmetros físicos para caracterizar a coluna de água obtidos por diferentes equipamentos: (i) velocidade da corrente, turbidez, salinidade e temperatura junto ao fundo obtidos pelo RCM9; (ii) magnitude da corrente, altura da maré adquiridos pelo ADCP; (iii) temperatura, concentração de partículas, D50 e granulometria das partículas foi obtida pelo LISST a meio da coluna de água e junto ao fundo. Analisou-se também o conteúdo em nanoplâncton calcário existente nos filtros colhidos e nos sedimentos de fundo durante a campanha.

Na coluna de água constatou-se que os valores mais elevados dos parâmetros físicos acima enumerados coincidiam com a fase de vazante da maré. Por sua vez, a fase de vazante era persistentemente mais curta do que a fase de enchente levando ao incremento dos valores máximos na vazante. As partículas que se encontravam em suspensão eram maioritariamente filossilicatos não tendo sido detetado se existia ou não floculação. Quanto ao conteúdo em nanoplâncton calcário confirmou-se a existência de duas associações distintas, uma pertencente ao subdomínio oceânico e outra ao subdomínio nerítico. Existia uma discrepância entre o máximo de concentração de cocólitos dos dois subdomínios, nomeadamente as espécies de subdomínio oceânico que foram detetadas primeiramente quando na realidade se encontravam mais afastadas da linha de costa. Para tal, propôs-se uma hipótese que se baseou em dados da circulação estuarina do modelo MOHID (MARETEC) que permitiu explicar a discrepância descrita. Aplicou-se ainda o modelo (coco)litos vs. (cocos)esferas que reforçou o caráter dinâmico do estuário e os diferentes comportamentos das espécies identificadas.

Nos sedimentos de fundo nos níveis 0-2 cm e 2-4 cm detetou-se espécies atuais e espécies fósseis de nanoplâncton calcário, sendo as espécies fósseis provenientes de unidades miocénicas e cretácicas. Aproximadamente 70% das espécies de nanoplâncton calcário observadas eram espécies atuais. Do ponto de vista textural observou-se que o local era constituído maioritariamente por areias e silte pouco/mal calibradas. Aparentemente houve uma variação espacial relacionada com a variação de 150 m entre dois grupos de amostras colhidos, pois existiam amostras que apresentavam evidências de bioturbação e outras que tinham estratificação. Porém, nas amostras estaremos perante uma variação temporal de acordo com as taxas de sedimentação consideradas, entre 0,7 cm/ano e 2,2 cm/ano. Assim sendo, estes 4 cm das amostras iram corresponder a 2 ou 6 anos de sedimentação que estará a ser subentendida pela bioturbação em determinadas amostras.

A correlação entre os dados de nanoplâncton calcário/sedimentologia da coluna de água e os dados dos sedimentos de fundo permitiu constatar que apenas um ciclo de maré não tem influência direta sobre o que fica retido. Mostrou que a espécie de nanoplâncton calcário mais abundante quer na coluna de água quer nos sedimentos é a espécie *G. oceanica*. Por fim analisou-se a moda granulométrica das partículas junto ao fundo e das partículas constituintes do nível 0-2 cm evidenciando a existência de uma ressuspensão local de areias finas mais acentuada na fase de vazante. Durante o estófo da maré os dados sugeriram que tenha sido depositado algum deste material, que na fase de vazante foi novamente sujeito a ressuspensão. É necessário referir que na fase de vazante o sinal das partículas em suspensão evidenciava um transporte das mesmas de um local a montante, reforçando o facto de este ser um local complexo e dinâmico.

**Palavras-Chave:** Estuário do Tejo; Sedimentologia; Nanoplâncton calcário; Coluna de água; Sedimentos de fundo; Ciclo de maré.

# Abstract

The present dissertation was based on data collected during SEDEX project of Instituto Hidrográfico on 2015 (November 12) in Tejo estuary on board the ship NRP Andrómeda. The data was obtained by direct and indirect methods during a tidal cycle at a fixed station near the mouth of the Jamor creek and based in oceanographic and sedimentological and calcareous nannoplankton data. The three components were analysed in the water column and bottom sediments (in the level 0-2 cm and level 2-4 cm) which made possible to characterize the dynamics of the local.

To characterize the water column were analysed several physical parameters: (i) current velocity, turbidity, salinity and temperature near the bottom obtained by RCM9; (ii) current magnitude, tidal height acquired by the ADCP; (iii) temperature, particle concentration, D50 and particle size were obtained by LISST in the middle of the water column and near to the bottom. The content of calcareous nannoplankton in the filters and bottom sediments collected during the campaign was also analysed.

In the water column, it was observed that the higher values of the physical parameters listed above coincided with the tidal ebb phase. The increase of the maximum values in ebb phase was related to the fact of ebb was persistently shorter than the flood phase. The particles in suspension were mostly phyllosilicates and it was not detected if flocculation was present or not. It was confirmed the existence of two distinct associations of calcareous nannoplankton one belonging to the ocean subdomain and the other to the neritic subdomain. This showed the existence of a discrepancy on the maximum concentration of cocoliths. The results of the oceanic subdomain were first detected in the fixed station when in fact they are further away from the coastline. To explain this discrepancy a hypothesis was proposed based on data of the estuarine circulation using MOHID model (MARETEC). The model (cocco) liths vs. (cocco) spheres reinforced the dynamic behaviour of the estuary and the different behaviours of the identified species.

In the bottom sediments at levels 0-2 cm and 2-4 cm was observed present and fossil species of calcareous nannoplankton. The present species represents approximately 70% of the observed calcareous nannoplankton. From the textural point of view, it was observed that the collected samples were constituted mainly by poorly calibrated sands and silt. Initially we suspected that there was a spatial variation, related to the 150 m displacement between the two groups of samples some presented evidence of bioturbation and others were stratified. However, in the samples possible we faced a temporal variation due to the considered sedimentation rates (between 0,7 cm / year and 2,2 cm / year). The 4 cm corresponds to 2 or 6 years which was remobilized by bioturbation in some samples.

The correlation between calcareous nannoplankton data the water column and background sediment data showed that just one tidal cycle has no direct influence in what was deposited. The specie *G. oceanica* was the most abundant calcareous nannoplankton in the water column and sediments. Finally, the suspended particle near the bottom and the bottom sediments (0-2 cm) showing the existence of a local resuspension of fine sands accentuated in the ebb phase. During the transition of flood to the ebb phase the data suggested the deposition of some material that was in suspension. In the ebb phase this material was resuspended again. It should be noted that in the ebb phase the signal of suspended particles showed a transport of the particles from an upstream zone, reinforcing the fact that was a complex and dynamic local.

**Keywords:** Tejo Estuary; Sedimentology; Calcareous Nannoplakton; Water column; Bottom sediments; Tidal cycle.



# Conteúdo

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>i</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Tabelas .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Siglas .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	1
1.2. Morfologia do Estuário do Tejo .....	2
1.3. Hidrologia.....	4
1.4. Hidrodinâmica .....	5
1.5. Hidrografia Estuarina .....	6
1.6. Nanoplâncton Calcário - Cocolitóforos.....	7
<i>Calcidiscus leptoporus</i> .....	7
<i>Coccolithus pelagicus</i> .....	8
<i>Coronosphaera mediterranea</i> .....	8
<i>Emiliania huxleyi</i> .....	8
<i>Gephyrocapsa ericsonii</i> .....	8
<i>Gephyrocapsa muelleriae</i> .....	9
<i>Gephyrocapsa oceanica</i> .....	9
<i>Helicosphaera carteri</i> .....	9
1.7. Dinâmica Sedimentar .....	10
Proveniência sedimentar.....	10
Partículas em suspensão .....	10
Taxa de Sedimentação no Estuário.....	11
<b>2. Enquadramentos .....</b>	<b>12</b>
2.1. Enquadramento Geográfico.....	12
2.2. Enquadramento Geológico .....	13
2.3. Enquadramento da Amostragem .....	14
<b>3. Métodos .....</b>	<b>15</b>
3.1. Análise de Nanoplâncton Calcário .....	15
3.1.1. Análise de Nanoplâncton calcário nos filtros (em laboratório).....	15
3.1.2. Análise micropaleontológica nos sedimentos (em laboratório) .....	15
3.2. Análise sedimentológica.....	17
3.2.1. Análise de Matéria particulada em suspensão.....	17

3.2.1.1 Trabalho de campo .....	17
a) Análise com LISST .....	17
b) Análise com ADCP .....	18
c) Análise com RCM9 .....	18
d) Amostragem da coluna de água .....	18
3.2.1.2. Trabalho laboratorial .....	19
a) Análise de dados LISST/ADCP/RCM9 .....	19
b) Análise das amostras de água.....	19
3.2.2. Análise das partículas de fundo.....	19
3.2.2.1 Trabalho de campo .....	19
3.2.2.2 Trabalho laboratorial .....	20
a) Ensaios Granulométricos.....	20
b) Ensaios dos teores de carbono.....	20
c) Ensaios de difração raio-X da fração silto-argilosa.....	21
<b>4. Resultados .....</b>	<b>22</b>
4.1. Coluna de água .....	22
4.1.1 Análise de Nanoplâncton calcário .....	22
4.1.1.1. Variação de cocólitos e cocosferas em cada espécie .....	22
4.1.1.2 Análise de (coco)litos vs. (coco)esferas .....	28
4.1.2. Resultados dos parâmetros físicos da coluna de água (temperatura, salinidade, correntes e características dos sedimentos em suspensão) .....	30
4.1.2.1 Temperatura e salinidade.....	30
4.1.2.2 Partículas em suspensão .....	31
4.1.2.3. Correntes .....	35
4.1.2.4. Composição das partículas em suspensão .....	36
4.1.2.5 Caudal médio do rio e amplitude da maré.....	37
4.1.3. Nanoplâncton calcário vs. Parâmetros físicos da coluna de água.....	37
4.2. Sedimentos de fundo .....	38
4.2.1. Análise de nanoplâncton calcário nos sedimentos de fundo .....	38
4.2.1.1 Cocólitos no sector mais superficial (nível 0-2 cm).....	38
4.2.1.2 Cocólitos no sector de sub-superfície (nível 2-4 cm).....	40
4.2.2. Análise Sedimentológica .....	41
4.2.2.1. Resultados do nível 0-2 cm .....	41
a) Análise granulométrica (Parâmetros de Folk & Ward, Sorting Index, classificação de Flemming) .....	41
b) Teor de carbonato de cálcio vs. Matéria orgânica.....	43
c) Mineralogia das partículas detríticas .....	43
4.2.2.2 Resultados do nível 2-4 cm .....	45

a) Análise granulométrica (Parâmetros de Folk & Ward, Sorting Index, classificação de Flemming) .....	45
b) Teor Carbono vs. Matéria orgânica .....	47
c) Mineralogia das partículas detríticas .....	47
d) Análise da moda granulométrica de ambos os níveis .....	49
4.2.3. Nanoplâncton calcário vs. Sedimentologia.....	51
<b>Discussão .....</b>	<b>52</b>
Coluna de água .....	52
Sedimentos de fundo .....	59
Coluna de água vs. Sedimentos de fundo .....	61
<b>Conclusões.....</b>	<b>63</b>
<b>Trabalhos futuros.....</b>	<b>65</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>66</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>69</b>
Anexo A. Sistemática .....	69
Anexo B. Estampas das espécies de nanoplâncton calcário .....	70
Anexo C. Variação dos diferentes níveis que constituem a camada dos 0-4 cm.....	74
Anexo D. Caudal médio .....	75
Anexo E. Tabela de marés.....	76
Anexo F. Gráficos de correlação entre nanoplâncton calcário e os parâmetros físicos da coluna de água .....	77
Anexo G. Gráficos de correlação entre os sedimentos de fundo e o nanoplâncton calcário .....	81
Anexo H. Gráficos box-plot do nanoplâncton calcário do nível 0-2 cm.....	82
Anexo I. Gráfico box-plot do nanoplâncton calcário do nível 2-4 cm .....	84
Anexo J. Imagens Modelo MOHID .....	86
Anexo K. Registo fotográfico mini-corers .....	89
Anexo L. Moda granulométrica das partículas em suspensão junto ao fundo vs. moda granulométrica sedimentos de fundo do nível 0-2 cm.....	91

# Índice de Figuras

<b>Figura 1.1.</b> Representação da morfologia do Tejo, com a identificação dos diversos sectores: sector superior (1), sector médio (2), sector inferior (3) e sector fluvial (4), com base em imagem do google maps. ....	2
<b>Figura 1.2.</b> Representação da bacia hidrográfica do Estuário do Tejo (zona esverdeada), o rio principal (linha a cheio azul escura), afluentes (linha azul ligeiramente mais clara) e os seus subafluentes, representados a linha a cheio azul clara (Moreira, 2015). ....	4
<b>Figura 1.3.</b> (a) Canal central de vazante do estuário do Tejo, assinalado pela seta branca; (b) Circulação residual e os dois vórtices assinalados pelas setas a vermelho: 1- movimento anticiclónico e 2- movimento ciclónico. Imagens obtidas <a href="http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/Inicio/ExemploTejo/ExemploTejo.htm">http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/Inicio/ExemploTejo/ExemploTejo.htm</a> . ....	6
<b>Figura 2.1.</b> Localização da parte vestibular do Estuário do Tejo (retirado do Google maps). ....	12
<b>Figura 2.2.</b> Enquadramento Geológico simplificado da bacia hidrográfica do Tejo, Freire (1999). ...	13
<b>Figura 2.3.</b> Enquadramento do local em estudo com a respetiva batimetria obtida durante a campanha SEDEX 2015 (a) e a variação espacial da própria amostragem (b). ....	14
<b>Figura 3.1.</b> Equipamento de LISST-100x tipo C, Particle Size analyzer user's manual, versão 4.65, SEQUOIA utilizado nas medições durante o projeto SEDEX 2015 pela equipa do Instituto Hidrográfico. ....	17
<b>Figura 3.2.</b> Representação esquemática dos proxies dos sedimentos em suspensão: LISST, ADCP e RCM9, com uma inter- relação qualitativa boa (Santos <i>et al.</i> , 2016). ....	18
<b>Figura 3.3.</b> Mini-corer enterrado no material colhido pela draga (a); Mini-corer aberto ao meio (b). 20	
<b>Figura 4.1.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>B. bigelowii</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	22
<b>Figura 4.2.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>C. leptoporus</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	23
<b>Figura 4.3.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>C. pelagicus</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	23
<b>Figura 4.4.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>C. mediterranea</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	24
<b>Figura 4.5.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>E. huxleyi</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	25
<b>Figura 4.6.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>G. ericsonii</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	25
<b>Figura 4.7.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>G. muelleriae</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	26
<b>Figura 4.8.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>G. oceanica</i> durante o ciclo de maré representado pela altura da maré (m) (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	26
<b>Figura 4.9.</b> Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de <i>H. carteri</i> ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes). ....	27
<b>Figura 4.10.</b> Modelo Litos vs. Esferas (círculo branco – fase de enchente, círculo cinzento – estofo e círculo preto – vazante) das espécies <i>G. ericsonii</i> (a); <i>G. oceanica</i> (b); <i>E. huxleyi</i> (c); <i>C. mediterranea</i> (d); <i>G. muelleriae</i> (e); <i>H. carteri</i> (f). ....	29
<b>Figura 4.11.</b> Variação da temperatura junto ao fundo (linha a cheio preta) e a meio da coluna de água (linha a tracejado cinza) obtidos pelo aparelho LISST 100-X consoante a variação da altura da maré (zona sombreada) durante o ciclo de maré. ....	30
<b>Figura 4.12.</b> Variação de temperatura (a) e salinidade (b) ao longo do ciclo de maré do RCM9 (a sombreado está representada a variação da altura da maré). ....	31

<b>Figura 4.13.</b> Variação da concentração de partículas a meio da coluna de água (a uma profundidade entre 5,23 m e 6,91 m) e junto ao fundo (a uma profundidade entre 10,83 m e 13,08 m) obtido pelo LISST (linha cheio preta corresponde ao meio da coluna de água e a linha a tracejado cinza ao nível junto ao fundo). ....	31
<b>Figura 4.14.</b> Variação da concentração de partículas à superfície resultante da análise dos filtros (concentração correspondente a 1 m da superfície) e variação da altura da maré (sombreado azul). ...	32
<b>Figura 4.15.</b> Variação da concentração de partículas na coluna de água (linha a cheio roxa), calculado através dos dados obtidos com o ADCP e a variação da altura da maré (sombreado azul). ....	32
<b>Figura 4.16.</b> Correlação entre a concentração de partículas e a turbidez junto ao fundo, que mostra que a turbidez neste caso é um <i>proxy</i> da quantidade de partículas que se encontram em suspensão na coluna de água e a respetiva equação que os correlaciona assinalada a azul. ....	33
<b>Figura 4.17.</b> Variação da turbidez (linha a cheio preta) durante o ciclo de maré (a sombreado está marcada a variação da altura da maré) obtida pelo RCM9. ....	33
<b>Figura 4.18.</b> Variação do D50 (diâmetro médio das partículas) durante o ciclo de maré a meio da coluna de água (linha a tracejado cinza) e junto ao fundo (linha a cheio preta), e a respetiva variação da altura da maré (a sombreado). ....	34
<b>Figura 4.19.</b> Média vs. Desvio-padrão das partículas em suspensão junto ao fundo (círculos a preto) e a meio da coluna de água (círculos a cinzento) durante o do ciclo de maré (a); Assimetria vs. Desvio-padrão das partículas em suspensão junto ao fundo (círculos a preto) e a meio da coluna de água (círculos a cinzento) ao longo do ciclo de maré (b) obtidos através do LISST. ....	34
<b>Figura 4.20.</b> Variação da magnitude da corrente (m/s) junto ao fundo (linha a cheio preta), a meio da coluna de água (linha a cheio cinza escuro) e à superfície (linha a cheio cinza claro), durante o ciclo de maré (sombreado azul). ....	35
<b>Figura 4.21.</b> Variação da velocidade da corrente junto ao fundo(m/s) durante o ciclo de maré, resultante da média dos dados obtidos com o RCM9. ....	36
<b>Figura 4.22.</b> Variação da mineralogia das partículas em suspensão (representada pelas barras de diferentes cores) com a variação da altura de maré (tracejado a preto). ....	36
<b>Figura 4.23.</b> Variação do caudal médio durante os meses de novembro (linha a cheio preta), entre 1990 e 2016 e o círculo vermelho assinala o ano da amostragem. ....	37
<b>Figura 4.24.</b> Abundância de cocólitos/g (média dos três replicados de cada amostra) nas amostras, englobando todas as espécies atuais, remobilizadas e indeterminados do nível 0-2 cm e as respetivas barras de desvio-padrão (linha a cheio preta) para cada uma das amostras (a altura da maré está a tracejado preto). ....	38
<b>Figura 4.25.</b> Percentagem relativamente às espécies atuais que foram identificadas nos replicados de todas as amostras do nível 0-2 cm (a); Percentagem relativamente às espécies remobilizadas, Miocénico e Cenozóico, que foram identificadas nos replicados de todas as amostras do nível 0-2 cm (b). ....	39
<b>Figura 4.26.</b> Abundância de cocólitos/g (média dos três replicados de cada amostra) nas amostras, englobando todas as espécies atuais, remobilizadas e indeterminados do nível 2-4 cm e as respetivas barras de desvio-padrão (linha a cheio preta) para cada uma das amostras (a altura da maré está representada a tracejado preto). ....	40
<b>Figura 4.27.</b> Percentagem relativamente às espécies atuais que foram identificadas nos replicados das amostras do nível 2-4cm (a); Percentagem relativamente às espécies remobilizadas, Miocénico e Cenozóico, que foram identificadas nos replicados das amostras do nível 2-4 cm (b). ....	40
<b>Figura 4.28.</b> Mini- <i>corer</i> com evidências de estratificação, representada pela linha a cheio branca (a); Mini- <i>corer</i> evidências de bioturbação, representado a branco pela forma oval (b). ....	41
<b>Figura 4.29.</b> Percentagem de areia (barra verde), silte (barra bege), argila (barra laranja) e cascalho (barra castanha) que compõe as amostras colhidas do nível 0-2 cm. ....	42
<b>Figura 4.30.</b> Variação da percentagem de matéria orgânica (linha a cheio preta) e do teor em carbonato de cálcio (barra cinzenta) do nível 0-2 cm, calculado a partir dos valores de TIC e TOC. ....	43
<b>Figura 4.31.</b> Composição mineralógica das partículas detríticas que constituem as amostras do nível 0-2cm: clorite, ilite, caulinite, quartzo, feldspato potássico, plagioclase, calcite, dolomite. ....	44

<b>Figura 4.32.</b> Percentagem de areia (barra verde), silte (barra bege), argila (barra laranja) e cascalho (barra castanha) que compõe as amostras colhidas do nível 2-4 cm. ....	46
<b>Figura 4.33.</b> Variação da percentagem de matéria orgânica (linha a cheio preta) e do teor em carbonato de cálcio (barra cinzenta) do nível 2-4 cm, calculado a partir dos valores de TIC e TOC. ....	47
<b>Figura 4.34.</b> Composição mineralógica das partículas detríticas que constituem as amostras, do nível 2-4 cm: ilite, caulinite, quartzo, feldspato potássico, plagioclase, calcite, dolomite. ....	47
<b>Figura 4.35.</b> Moda granulométrica dos os níveis 0-2 cm (linha a cheio preta) e 2-4cm (linha a cheio azul) das amostras colhidas: #2 (a); #3 (b); #4 (c); #5 (d); #6 (e); #7 (f); #8 (g); #9 (h); #10 (i); #11 (j). ....	50
<b>Figura 5.1.</b> Valores médios de concentração de cocólitos/l para as espécies <i>G. oceanica</i> , <i>H. carteri</i> , <i>C. pelagicus</i> , <i>G. ericsonii</i> , <i>E. huxleyi</i> , <i>C. mediterranea</i> , <i>G. muelleriae</i> , <i>C. leptoporus</i> e <i>B. bigelowii</i> , durante as fases da maré, com base nos dados dos gráficos de variação individual (ver secção 4.1.1.1.). Enchente – barra branca; estofa – barra cinzenta; Vazante – Barra preta; ....	52
<b>Figura 5.2.</b> Modelo proposto para explicar a entrada das associações (do subdomínio nerítico e oceânico) detetadas no local de amostragem no estuário do Tejo, com base nos resultados obtidos durante a amostragem no projeto SEDEX 2015 (a); Representação da entrada das massas de água no estuário do Tejo e das diferentes associações (estações #2,#3,#4) (b); Dispersão das massas de água para o local em estudo durante o estofa da maré (Estação #5) e início da inversão da massa de água no troço de Cacilhas – Terreiro do Paço (c); representação do fim do estofa da maré e início da fase de vazante (d). ....	55
<b>Figura 5.3.</b> Variação da salinidade (linha a cheio esverdeada), da temperatura (linha a cheio laranja) junto ao fundo obtida pelo RCM9, e da temperatura (linha a cheio acastanhada) a meio da coluna de água (obtida pelo LISST) ao longo do ciclo de maré (representado pela altura da maré a sombreado) permitindo a identificação das duas massas de água com características distintas: marinha e estuarina. ....	56
<b>Figura 5.4.</b> Variação da concentração de partículas (g/l) durante o ciclo de maré vs. a magnitude da corrente (m/s). (a) à superfície; (b) a meio da coluna de água; (c) junto ao fundo, estando assinalado com o retângulo a vermelho o desfaseamento entre o máximo do valor de magnitude e a concentração de partículas em suspensão dos diferentes níveis da coluna de água. ....	57
<b>Figura 5.5.</b> Variação dos valores médios da concentração de partículas em suspensão, em g/l (a); da magnitude da corrente, em m/s (b); da velocidade da corrente (m/s) e da turbidez, em FTU (c) nas diferentes fases da maré. Fase de enchente- barra branca; estofa da maré - barra cinzenta e fase de vazante - barra preta. ....	58
<b>Figura 5.6.</b> Esquema representativo da composição das partículas de fundo e das partículas em suspensão, face à percentagem média de silicatos e carbonatos, referindo a percentagem dos filossilicatos. ....	61
<b>Figura 5.7.</b> Diagrama ternário da variação da percentagem de filossilicatos, silicatos e carbonatos das partículas em suspensão (representada pelos símbolos verdes) e das partículas de fundo (representada pelos símbolos a laranja). ....	62
<b>Figura A.1.</b> 1- <i>Gephyrocapsa oceanica</i> (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água), 2- <i>Gephyrocapsa muelleriae</i> (identificada tanto nos sedimentos de fundo como nos filtros da coluna de água), 3- <i>Gephyrocapsa ericsonii</i> (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água), 4- <i>Coccolithus pelagicus</i> (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água); 5- <i>Helicosphaera carteri</i> (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água), 6 - <i>Emiliania huxleyi</i> (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água). ....	70
<b>Figura A.2.</b> 7- <i>Reticulofenestra productus</i> (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 8 - <i>Reticulofenestra minuta</i> (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 9- <i>Reticulofenestra antarcticus</i> (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 10- <i>Reticulofenestra haqii-minutula</i> (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 11 - <i>Umbilicosphaera tenuis</i> (identificada apenas nos sedimentos), 12 - <i>Sphenolithus</i> sp. ....	71
<b>Figura A.3.</b> 13 - <i>Pontosphaera</i> sp. (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 14 - <i>Braarudosphaera bigelowii</i> (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 15- <i>Watznaueria barnesiae</i>	

(observada apenas nos sedimentos de fundo), 16 – <i>Watznaueria biporta</i> (identificada nos sedimentos), 17 – <i>Luxolithus</i> sp. (identificada nos sedimentos), 18 - <i>Ciclicargolithus floridanus</i> (identificada apenas nos sedimentos). .....	72
<b>Figura A.4.</b> 19 - <i>Watznaueria fossacincta</i> (identificada apenas nos sedimentos), 20 - <i>Watznaueria ovata</i> (identificada apenas nos sedimentos). .....	73
<b>Figura A.5.</b> Gráficos de correlação da componente do nanoplâncton calcário detetado na coluna de água e diversos parâmetros físicos da coluna de água. ....	80
<b>Figura A.6.</b> Gráficos de correlação da componente do nanoplâncton calcário detetado nos sedimentos e os parâmetros de sedimentologia, nomeadamente a percentagem de matéria orgânica, de carbonato de cálcio e, por fim, a percentagem de finos. ....	81
<b>Figura A.7.</b> Gráficos box-plot do nível 0-2 cm das espécies atuais e fósseis mais relevantes neste estudo, sendo os valores de concentração de cocólitos/g uma média das amostras que constituem a fase de enchente (#2, #3 e #4), estofo (#5 e #6) e vazante (#7, #8, #9, #10 e #11). (Legenda: barra branca-corresponde à fase de vazante, barra cinzenta – estofo da maré e, por fim, a barra preta – coincide com a fase de vazante) .....	83
<b>Figura A.8.</b> Gráficos box-plot do nível 2-4 cm das espécies atuais e fósseis mais relevantes neste estudo, sendo os valores de concentração de cocólitos/g uma média das amostras que constituem a fase de enchente (#2, #3 e #4), estofo (#5 e #6) e vazante (#7, #8, #9, #10 e #11). (Legenda: barra branca-corresponde à fase de vazante, barra cinzenta – estofo da maré e, por fim, a barra preta – coincide com a fase de vazante) .....	85
<b>Figura A.9.</b> Imagens do modelo MOHID em que se fundamentou o modelo proposto para o nanoplâncton calcário na coluna de água retirado de <a href="http://forecast.maretec.org/maps/">http://forecast.maretec.org/maps/</a> , nomeadamente o traçador da velocidade da corrente no dia 12 de novembro de 2015. ....	88
<b>Figura A.10.</b> Registo fotográfico efetuado a bordo do navio NRP Andrómeda da abertura de um dos mini-corer para cada uma das amostras colhidas: amostra #2 (a), amostra #3 (b), amostra #4 (c), amostra #5 (d), amostra #6 (e), amostra #7 (f), amostra #8 (g), amostra #9 (h), amostra #10 (i) e amostra #11 (j). .....	90
<b>Figura A.11.</b> Variação da moda granulométrica das partículas em suspensão junto ao fundo (obtidas através do LISST) e das partículas detríticas que constituem os sedimentos de fundo do nível 0-2 cm: amostra #2 (a), amostra #3 (b), amostra 4 (c), amostra #5 (d), amostra #6 (e), amostra #7 (f), amostra #8 (g), amostra #9 (h), amostra #10 (i), amostra #11 (j). Legenda: a linha a cheio vermelha representa a moda granulométrica das partículas em suspensão; a linha a cheio preta representa a moda dos sedimentos de fundo do nível 0-2 cm (Nota: existem diferenças nas escalas, isto porque existem estações em que há uma variação mais significativa).....	92

# Índice de Tabelas

<b>Tabela 2.1.</b> Caraterísticas das 10 estações realizadas durante o dia 12 de novembro de 2015, junto à desembocadura do Jamor. ....	14
<b>Tabela 3.1.</b> Valores relativos ao volume filtrado de água em cada uma das amostras colhidas a bordo do navio NRP Andrómeda. ....	19
<b>Tabela 4.1.</b> Parâmetros dos sedimentos de fundo, nível 0-2 cm, obtidos através da análise granulométrica com o Malvern 2000: desvio-padrão, moda, média, assimetria, Q1, Q2 e Q3.....	41
<b>Tabela 4.2.</b> Valores de assimetria das amostras do nível 0-2 cm e respetiva classificação com base nos parâmetros de Folk & Ward (1957). ....	42
<b>Tabela 4.3.</b> Mineralogia das partículas detríticas do nível 0-2 cm, obtidos através da difração raios-X (a); Percentagem de filossilicatos, silicatos e carbonatos em cada amostra do nível 0-2 cm (b). ....	44
<b>Tabela 4.4.</b> Parâmetros dos sedimentos de fundo, do nível 2-4 cm, obtidos através da análise granulométrica com o Malvern 2000: desvio-padrão, moda, média, assimetria, Q1, Q2 e Q3.....	45
<b>Tabela 4.5.</b> Valores de assimetria das amostras do nível 2-4 cm e a sua classificação de acordo com os parâmetros de Folk & Ward (1957) .....	46
<b>Tabela 4.6.</b> Mineralogia das partículas detríticas constituintes do nível 2-4 cm, obtidos por difração raios-X (a); Percentagem de filossilicatos, silicatos e carbonatos de cada amostra do nível 2-4 cm (b). ....	48
<b>Tabela A.1.</b> Variação precisa em centímetros entre os níveis analisados, tanto dos 0-2 cm como no 2-4 cm. ....	74
<b>Tabela A.2.</b> Valores do caudal médio calculado para os meses de novembro desde 1990 até 2016....	75
<b>Tabela A.3.</b> Variação da amplitude de maré no dia da amostragem registadas no porto de Lisboa do Instituto Hidrográfico.....	76
<b>Tabela A.4.</b> Variação da amplitude de maré no dia de amostragem no porto de Cascais, do Instituto Hidrográfico. ....	76



## Lista de Siglas

<b>ADCP</b>	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
<b>CIT</b>	Carbono Inorgânico Total
<b>COT</b>	Carbono Orgânico Total
<b>CT</b>	Carbono Total
<b>FTU</b>	Unidades de Turbidez Formazina
<b>IH</b>	Instituto Hidrográfico
<b>LISST</b>	<i>Laser In-Situ Scattering and Transmissometry</i>
<b>L/S</b>	Modelo (coco)litos vs. (cocos)esferas
<b>MO</b>	Matéria Orgânica
<b>RCM9</b>	<i>Recording Current Meter</i>
<b>SEDEX</b>	Sedimentos- exercício de treino

# Capítulo 1

## 1. Introdução

### 1.1. Objetivos

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Ciências do Mar, do departamento de Geologia, da Faculdade de Ciências, da Universidade de Lisboa em parceria com o Instituto Hidrográfico, da Marinha Portuguesa, durante o ano letivo 2016/17. Este estudo é intitulado “Dinâmica num sector distal do Estuário do Tejo com base em dados oceanográficos, sedimentológicos e nanoplâncton calcário” e teve por base os dados colhidos numa estação fixa ao longo de um ciclo de maré durante o projeto SEDEX 2015. No âmbito deste projeto foram colhidas amostras de água e sedimentos de fundo, com o intuito de analisar a variabilidade espacial e temporal da coluna de água e dos sedimentos de fundo. Para tal foram aplicados métodos diretos (dragagens e colheitas de água) e métodos indiretos (ADCP, LISST, RCM9) perto da desembocadura da ribeira do Jamor (estação fixa). Assim, quanto à coluna de água pretendeu-se: (i) determinar variações dos parâmetros físicos, tais como, temperatura, salinidade, correntes e características texturais/composicionais das partículas em suspensão; (ii) determinar quais as espécies de nanoplâncton calcário presentes e a que associação de subdomínio pertencem, nomeadamente, oceânico e nerítico; (iii) qual a fase da maré (enchente, estofo ou vazante) apresenta maior influência no transporte de sedimentos e de nanoplâncton calcário; (iv) se as partículas detríticas em suspensão resultam de uma ressuspensão local ou de locais a montante; (v) se existe relação entre os parâmetros oceanográficos/sedimentológicos/nanoplâncton calcário. Relativamente aos sedimentos de fundo pretendeu-se perceber se: (i) existe uma variabilidade espacial/temporal do ponto de vista textural/composicional/nanoplâncton calcário; (ii) os dois níveis analisados (0-2 cm e 2-4 cm) apresentam estratificação ou se estão afetados por bioturbação; (iii) quais as espécies de nanoplâncton calcário mais abundantes e qual a sua inter-relação com os parâmetros sedimentológicos (% partículas finas, % carbono inorgânico, carbono orgânico e dimensão média das partículas).

Em suma, este estudo focou-se na análise detalhada da coluna de água e sedimentos de fundo numa estação fixa durante um ciclo de maré.

O presente trabalho foi dividido em seis capítulos:

- Capítulo 1: Introdução com uma breve descrição sobre morfologia, hidrologia, hidrodinâmica, hidrografia estuarina, nanoplâncton calcário e dinâmica sedimentar no estuário do Tejo.
- Capítulo 2: Enquadramentos, onde se encontra descrito o enquadramento geográfico, geológico e o local de amostragem.
- Capítulo 3: Métodos, onde está descrita a metodologia utilizada em campo e os procedimentos realizados em laboratório para a componente da sedimentologia e do nanoplâncton calcário.
- Capítulo 4: Resultados, com apresentação dos resultados relativos à coluna de água e aos sedimentos de fundo para ambas as componentes (nanoplâncton calcário e sedimentologia).
- Capítulo 5: Discussão dos resultados apresentados no capítulo anterior.
- Capítulo 6: Conclusões do presente trabalho e trabalhos futuros.

## 1.2. Morfologia do Estuário do Tejo

O estuário do Tejo contrariamente aos restantes estuários portugueses não apresenta uma forma característica de funil e, portanto, enquadra-se melhor na definição de laguna de maré (Vale & Sundby, 1987).

Do ponto de vista morfológico, o estuário do Tejo pode ser dividido em quatro sectores (Figura 1.1): sector fluvial, sector superior, sector médio e sector inferior (Bettencourt *et al.*, 2003). A composição granulométrica varia nestas quatro secções. No sector fluvial os fundos são constituídos por areias, os sectores superior e intermédio são compostos por vasa e vasa arenosa e, por fim, o sector inferior por areias (Oliveira, 1967).



**Figura 1.1.** Representação da morfologia do Tejo, com a identificação dos diversos sectores: sector superior (1), sector médio (2), sector inferior (3) e sector fluvial (4), com base em imagem do google maps.

### Sector Fluvial

Este sector corresponde ao troço localizado entre Muge e Vila Franca de Xira com aproximadamente 30 km de comprimento e uma largura média de 300 m. Está sob a influência das marés nomeadamente dos efeitos de propagação da mesma. Tem valores de salinidade baixos devido ao limite da intrusão salina em Vila Franca de Xira (Freire, 1999) e, portanto, é constituído maioritariamente por água doce. Os depósitos sedimentares são constituídos por areia finas com alguma vasa associada.

### Sector Superior

O sector superior acomoda o troço mais largo de todo o estuário e compreende a zona entre Vila Franca de Xira e, a secção de Sacavém-Alcochete ocupando cerca de 48% da área total do estuário. É uma zona extensa, pouco profunda, com cerca de 20 km de comprimento e largura máxima de 14,5 km. Os principais canais de maré longitudinais são a Cala das Barcas (profundidade máxima 8 m), a Cala do Norte (profundidade máxima de 5m), a Cala de Samora e o Canal do Cabo Ruivo (profundidades máximas de 10 m).

Este sector detém uma aparência deltaica devido às ramificações produzidas pela confluência do rio Tejo e do rio Sorraia. Esta morfologia deve-se à existência de formas de acumulação longitudinais (mouchões e barras submersas) cortadas por canais de maré e, por extensas zonas de espraio junto à margem esquerda, onde se encontram as áreas de sapal.

Neste sector os sedimentos são finos, vasas, devido à diminuição da velocidade das águas (resultante do alargamento do rio), das barras naturais e, pela flocculação dos sedimentos argilosos provocada pelo aumento da salinidade das águas, promovendo desta forma a sedimentação (Monteiro, 2009).

#### Sector Médio

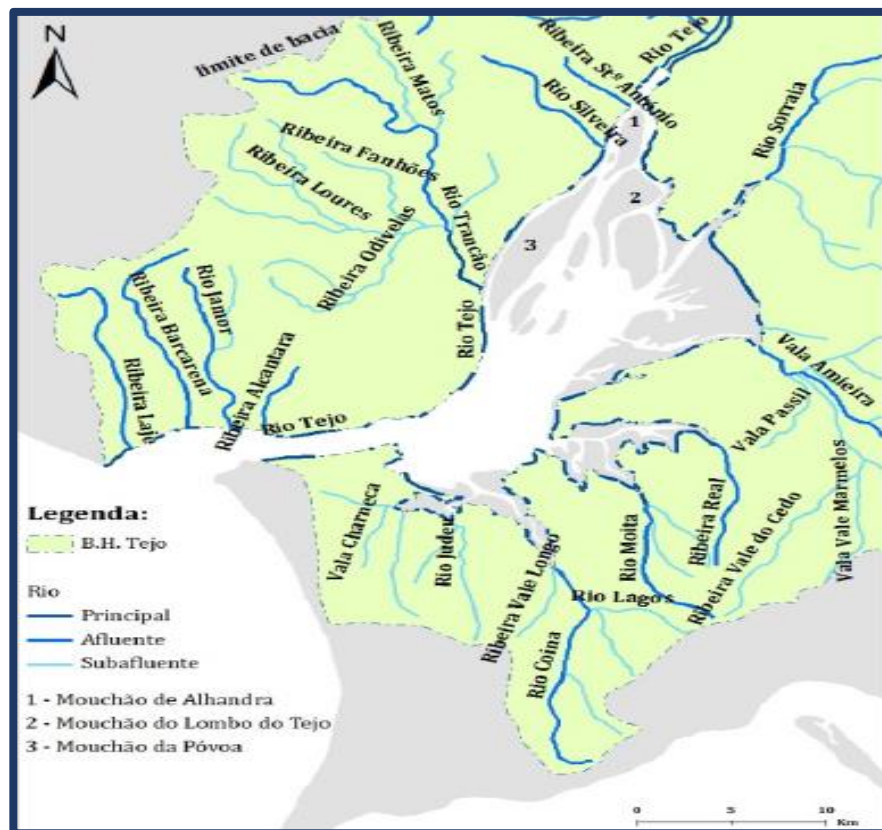
Este sector tem um contorno bastante irregular correspondendo à área entre Sacavém e a Praça do Comércio, designado por “corredor”. Contém as secções de Sacavém-Alcochete e Praça do Comércio- Cacilhas tendo cerca de 15 km de comprimento. Existe uma bacia pouco profunda designada Mar da Palha (cotas inferiores a 5 m) a montante de Cacilhas (margem esquerda) onde desembocam os esteiros associados aos canais do Montijo e do Barreiro. Esta margem esquerda encontra-se recortada, na qual se desenvolvem restingas e baías, tais como, a baía do Seixal (Silva, 2013).

#### Sector Inferior

Este sector corresponde ao corredor do Tejo, gargalo do Tejo, ou canal de captura. É constituído por um primeiro troço retilíneo com ~7,5 km de comprimento e 1,9 km de largura média. Desenvolve-se entre as secções da Praça do Comércio-Cacilhas e do Forte de S. Julião- Bugio- Cova do Vapor. Apresenta uma profundidade média maior do que nos restantes sectores, com profundidades superiores a 40 m ao longo da margem esquerda, cujas características são predominantemente marinhas.

### 1.3. Hidrologia

A água doce presente no estuário do Tejo provém do rio Tejo, dos seus afluentes e dos seus subafluentes. Os principais afluentes são o rio Sorraia, rio Trancão e os subafluentes, a ribeira do Jamor, ribeira de Odivelas, ribeira de Alcântara, entre outros (Figura 1.2). Os afluentes que afluem diretamente no estuário são o rio Sorraia na margem esquerda e, o rio Trancão na margem direita, cujo contributo de água doce é bastante relevante (Neves, 2010). O rio Tejo apresenta um caudal médio de 439,8 m<sup>3</sup>/s com um regime modificado que se deve à construção de albufeiras e barragens (Bettencourt *et al.*, 2003). Por sua vez a área de drenagem da bacia do rio Tejo tem cerca de 80,6x10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> (Freire, 1999).



**Figura 1.2.** Representação da bacia hidrográfica do Estuário do Tejo (zona esverdeada), o rio principal (linha a cheio azul escura), afluentes (linha azul ligeiramente mais clara) e os seus subafluentes, representados a linha a cheio azul clara (Moreira, 2015).

## 1.4. Hidrodinâmica

O estuário do Tejo é sujeito a uma maré do tipo semidiurno com duração de 12 horas e 25 minutos (Freire, 1999) que se propaga através da barra (Silva, 2013). Quanto à amplitude a maré é classificada como mesotidal (Taborda, 2009). A amplitude média no limite do corredor com a embocadura (em Paço de Arcos) varia entre 3,2 m em períodos de marés vivas e, 1,5 m em períodos de marés mortas. Aquando da sua propagação para montante a amplitude aumenta com a consequente diminuição da secção dos canais, anulando-se perto de Muge a cerca de 80 km da foz (Freire, 1999).

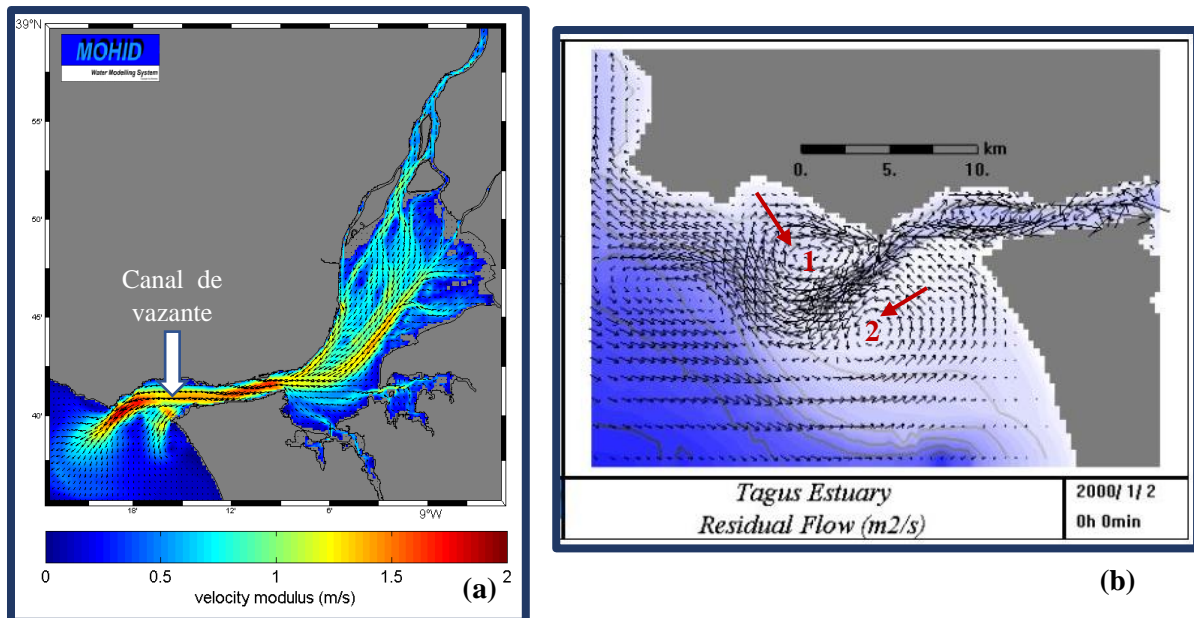
Os caudais de maré são superiores aos caudais do Tejo, nos sectores médio e inferior, tendo caudais de 40 000 m<sup>3</sup>/s em condição de enchente e 50 000 m<sup>3</sup>/s em condição de vazante (Silva, 2013). A hidrodinâmica estuarina é controlada pela propagação da maré oceânica, em maior escala e, pela descarga fluvial em menor escala. É ainda influenciada pelas ondas de geração local (Taborda, 2009).

A onda de maré tem uma assimetria traduzida por períodos de vazante persistentemente mais curtos do que os de enchente. A evolução desta onda de maré afeta a distribuição dos valores máximos das correntes, nomeadamente, valores mais elevados durante o período de vazante (Freire, 1999). Esta onda progressiva varia entre 1 m (maré morta) e 4 m (maré viva) em Lisboa e, portanto, a água superficial leva em média duas horas entre Lisboa e Vila Franca de Xira (Gameiro, 2009).

Os estudos efetuados por Vale & Sundby (1987) e Freire (1999) permitem interpretar as correntes de maré em períodos de marés vivas e marés mortas. Nas regiões interiores do estuário as correntes de maré são superiores à superfície com valores máximos entre 0,8 m/s e 1,2 m/s. Em situação de maré vivas: (i) as correntes de fundo têm intensidades semelhantes às de superfície cujos valores máximos oscilam entre 0,6 m/s e 1 m/s; (ii) no corredor as correntes são mais intensas à superfície, 2 m/s, enquanto junto ao fundo atingem valores na ordem de 1,3 m/s. Durante as fases de marés mortas: (iii) a intensidade das correntes à superfície é semelhante à observada em condições de marés vivas; (iv) junto ao fundo a velocidade não ultrapassa 0,2 m/s; (v) no corredor as correntes diminuem não atingindo valores superiores a 0,2 m/s junto ao fundo.

## 1.5. Hidrografia Estuarina

O estuário do Tejo é caracterizado por um canal central de vazante, representado na Figura 1.3a (Fernandes, 2005). A entrada de água é feita essencialmente pela margem direita e a saída pela margem esquerda (Maretec). A velocidade da corrente dentro do estuário é 1 m/s podendo durante a época de marés vivas atingir máximos de 2,5 m/s na zona do “corredor”.



**Figura 1.3. (a)** Canal central de vazante do estuário do Tejo, assinalado pela seta branca; **(b)** Circulação residual e os dois vórtices assinalados pelas setas a vermelho: 1- movimento anticiclónico e 2- movimento ciclónico. Imagens obtidas <http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/Inicio/ExemploTejo/ExemploTejo.htm>.

A circulação residual do Tejo, bastante intensa nos extremos do corredor, é calculada através da velocidade multiplicado pela profundidade (Maretec). Esta corrente residual tem direção NW quer em condições de inverno ou verão. O valor desta corrente é na ordem de 0,1 m/s sendo mais forte durante o inverno ao longo de toda a coluna de água. A existência de circulação residual permite a formação de dois vórtices adjacentes, com movimentos anticiclónico e ciclónico, junto da desembocadura do estuário na margem Norte (Figura 1.3b). Porém, estes vórtices não estão presentes durante um ciclo de maré, pois são o resultado de vários ciclos de maré (Maretec).

A afluência de água doce proveniente do rio Tejo é consequência de ventos de Sul que dependem da topografia existente, permitindo que estas águas sejam transportadas para o interior do estuário (Fernandes, 2005).

## 1.6. Nanoplâncton Calcário - Cocolitóforos

Os cocolitóforos são organismos fitoplanctônicos unicelulares marinhos que pertencem ao reino Cromista, filo Haptófita, classe Prymnesiophyceae e subclasse Prymnesiophycidae (Young *et al.*, 1997). O grupo das haptófitas é conhecido pelas suas espécies marinhas unicelulares biflageladas com haptonema. Neste grupo estão inseridos os cocolitóforos, um dos componentes do nanoplâncton calcário, que são carbonatados e apresentam dimensões reduzidas ( $< 63 \mu\text{m}$ ).

Os cocolitóforos têm grande impacto a nível global principalmente na biogeoquímica do planeta nos últimos 150 Ma (Graham & Wilcox, 2000). Este grupo é muito importante nas áreas da ciência sendo, do ponto de vista biológico considerado um dos principais produtores de produção primária marinha. No caso da biogeoquímica assumem um papel importante no ciclo do carbono e do enxofre, permitindo identificar as variações globais do nosso planeta do ponto de vista geológico. Por fim, são ainda relevantes na paleontologia porque possibilitam o estudo da biostratigrafia (Young & Thierstein, 2004). Estes organismos tem um exosqueleto biomineralizado que protege o interior da célula, a cocosfera, constituída por cocólitos (Brown, 1998). Os cocólitos são abundantes nos sedimentos marinhos, cujo registo fóssilífero está presente desde o final do Triásico até à atualidade (Bown *et al.*, 2004). Os cocólitos contribuem com cerca de 25% do total de carbono transportado ao longo da coluna de água até ao fundo do oceano (Graham & Wilcox, 2000).

Existem vários trabalhos que têm por base o estudo de cocolitóforos na plataforma continental portuguesa que demonstram a dinâmica ecológica destas comunidades. Por exemplo, junto à região de Lisboa observa-se uma recorrência sazonal de determinadas espécies, com intensificação dos valores de concentração durante a primavera e o outono (Silva *et al.*, 2008). Nesta zona determinaram-se algumas espécies que compõem essa comunidade, nomeadamente, o *Calcidiscus leptoporus*, *Coccolithus pelagicus*, *Coronosphaera mediterranea*, *Emiliania huxleyi*, *Gephyrocapsa ericsonii*, *Gephyrocapsa muelleriae*, *Gephyrocapsa oceanica* e *Helicosphaera carteri* (Anexo A). É importante compreender o comportamento destas espécies que podem ser utilizadas como *proxies* na caracterização das massas de água.

### *Calcidiscus leptoporus*

Existem duas subespécies (dois morfótipos) nomeadamente o *Calcidiscus leptoporus* subsp. *leptoporus* cujos cocólitos variam entre  $5-8 \mu\text{m}$  e o *Calcidiscus leptoporus* subsp. *quadriperforatus* que possui cocólitos com dimensões que variam entre  $7-11 \mu\text{m}$  (Young *et al.*, 2003). Apresentam suturas distais suavemente curvas (Young *et al.*, 2003) e uma área central fracamente elíptica (Nannotax3).

É uma espécie característica de águas subtropicais a tropicais, oligotróficas (Winter *et al.*, 1994) ocorrendo junto a outras espécies, porém em diferentes quantidades. É influenciada por zonas de advecção e períodos de *downwelling* (Silva *et al.*, 2009). Pode ser utilizada, como *proxy*, de períodos não produtivos e de zonas de convergência das massas de água subtropicais (Silva *et al.*, 2008).

Esta espécie é mais abundante durante o Outono e o Inverno, na costa Sul e vertente costeira ocidental. Por sua vez, está associada a outras espécies que estão presentes em massas de águas com características tropicais e subtropicais, mais quentes e salinas, tais como, *Umbilicosphaera sibogae*, *Scyphosphaera apsteinii*, *Discosphaera tubifer*, *Ophiaster* sp. (Marreco, 2008).



### ***Coccolithus pelagicus***

A espécie *Coccolithus pelagicus* apresenta três morfótipos de acordo com o estudo de Parente (2004): *Coccolithus pelagicus*, *Coccolithus pelagicus* subsp. *braarudii* e *Coccolithus pelagicus* subsp. *azorinus*. Estes morfótipos variam em tamanho, sendo o *C. pelagicus* subsp. *pelagicus* o mais pequeno cujos cocólitos variam entre 6-10 µm e em massas de água com temperaturas inferiores a 10°C (Young *et al.*, 2003); o *C. pelagicus* subsp. *braarudii* com um tamanho intermédio que varia entre 10-13 µm em massas de água com temperaturas a variar entre 14-18°C (Young *et al.*, 2003) e o *C. pelagicus* subsp. *azorinus* o mais largo que apresenta uma dimensão entre 14-16 µm. A área central desta espécie é fechada (Hagino *et al.*, 2009). Esta aparece nas massas de água com valores de temperatura, salinidade e nutrientes moderados, nomeadamente em massas de água cuja temperatura varia entre 1,7°C e 15°C (Cachão & Moita, 2000).

É um bom *proxy* associado a elevada produtividade, nomeadamente, durante o *upwelling* sazonal, junto à costa portuguesa (Amore *et al.*, 2012). Porém, nas fases de *downwelling* também se encontra bem representada (Cachão & Moita, 2000). Por fim, esta espécie tem grande afinidade com massas de água com elevadas concentrações de nutrientes (Boeckel & Baumann, 2004).

### ***Coronosphaera mediterranea***

A *Coronosphaera mediterranea* tem três morfótipos distintos cuja dimensão das cocosferas com forma sub-esférica varia entre 12-20 µm. Por sua vez, os cocólitos com uma forma elíptica variam entre 3-4 µm (Young *et al.*, 2003). Os cocólitos apresentam uma zona central profunda constituída por elementos irregulares (Nannotax3).

É considerada um *proxy* de águas superficiais subtropicais (Moita *et al.*, 2010). Contudo, já foi identificada no mar Mediterrâneo, na corrente do golfo do México, e no mar das Caraíbas colocando a hipótese que seja uma espécie de águas quentes (Winter *et al.*, 1994).

### ***Emiliania huxleyi***

É uma espécie de pequenas dimensões muito abundante nas massas de água e que apresenta vários morfótipos (Young & Thierstein, 2004). Os cocólitos do morfótipo tipo A variam entre 3-4 µm, o tipo B entre 3,5-5 µm e o tipo C entre 2,5-3,5 µm (Young *et al.*, 2003). No Atlântico Norte e no Mediterrâneo existem dois morfótipos desta espécie (Hidalgo *et al.*, 2002). As cocosferas da *Emiliania huxleyi* podem possuir até três camadas de cocólitos, placólitos estes com uma área central aberta e sem ponte (Nannotax 3).

Esta espécie é considerada ubíqua devido à sua capacidade de adaptação a diferentes valores de temperatura e salinidade (Boeckel & Baumann, 2004). Ocorrem em águas com elevadas concentrações de nutrientes nomeadamente: nos giros subtropicais, zonas de *upwelling* equatoriais e zonas costeiras (Hidalgo *et al.*, 2002).

### ***Gephyrocapsa ericsonii***

Esta espécie encontra-se no grupo das *small Gephyrocapsa* e está representada desde o Quaternário até à atualidade (Nannotax3). O tamanho dos cocólitos varia entre 1,4 µm e 2,3 µm de comprimento. Por sua vez, as cocosferas variam entre 3 µm e 5 µm de comprimento. Do ponto de vista morfológico

têm uma área central ampla atravessada por uma ponte fina que nem sempre é visível (Young *et al.*, 2003).

É considerada um bom *proxy* de produtividade costeira uma vez que é uma espécie muito frequente em condições de *upwelling* e eutrofização. É classificada como oportunista na zona fótica superior e, portanto, são bons indicadores de prevalência da corrente portuguesa (Amore *et al.*, 2012).

### ***Gephyrocapsa muellerae***

É uma espécie atual do género *Gephyrocapsa* de tamanho intermédio com uma área central bastante pequena atravessada por uma ponte. Os cocólitos variam entre 3-4 µm de comprimento enquanto as cocosferas variam entre 5-9 µm (Young *et al.*, 2003).

Têm afinidade com águas mais frias (Winter *et al.*, 1994) e ricas em nutrientes (Boeckel & Baumann, 2004).

É uma espécie associada ao início de *upwelling*, ou seja, presença de águas mais frias à superfície podendo ser considerada um *proxy* deste fenómeno (Silva *et al.*, 2008).

### ***Gephyrocapsa oceanica***

É considerada a maior espécie atual deste grupo com uma área central larga atravessada por uma ponte e um colar em torno da mesma que a torna mais robusta. O tamanho dos cocólitos varia entre 3,5 - 6 µm e as cocosferas entre 6-10 µm de comprimento (Young *et al.*, 2003).

A sua afinidade com elevadas concentrações de nutrientes promove o aumento rápido da sua população e, portanto, pode ser considerada uma espécie “oportunista” (Boeckel & Baumann, 2004). A ocorrência de *blooms* evidência o seu carácter oportunista (Young *et al.*, 2003).

### ***Helicosphaera carteri***

O tamanho dos cocólitos varia entre os 6-12 µm de comprimento. A área central pode apresentar duas fendas em linha, uma única fenda ou dois pequenos poros. Têm um elemento que a distingue das restantes espécies designada de “franja” (Young *et al.*, 2003).

A *Helicosphaera carteri* é considerada um *proxy* de águas superficiais subtropicais (Moita *et al.*, 2010). Segundo Brand (1994) esta espécie é encontrada frequentemente em massas de água mais quentes. Esta espécie revela uma boa adaptação às zonas costeiras possivelmente devido às suas células serem largas ou “comportamento oportunista” (Guerreiro *et al.*, 2009).

Durante este estudo foram identificadas espécies atuais e espécies fósseis (Anexo B). As espécies atuais identificadas foram: *Braarudosphaera bigelowii*, *Calcidiscus leptoporus*, *Coccolithus pelagicus*, *Coronosphaera mediterranea*, *Emiliana huxleyi*, *Gephyrocapsa ericsonii*, *Gephyrocapsa muellerae*, *Gephyrocapsa oceanica* e *Helicosphaera carteri*. Quanto às espécies fósseis foram identificadas as seguintes espécies: *Ciclicargolithus floridanus*, *Luxolithus* sp., *Reticulofenestra anctarticus*, *Reticulofenestra haqii-minutula*, *Reticulofenestra minuta*, *Reticulofenestra productus*, *Reticulofenestra pseudoumbilicus*, *Watznaueria barnesiae*, *Watznaueria biporta*, *Watznaueria fossacincta* e *Watznaueria ovata*.

## 1.7. Dinâmica Sedimentar

A dinâmica sedimentar do estuário do Tejo é complexa existindo mistura de sedimentos de origem marinha e fluvial com diferentes tipos de ambientes intertidais e supratidais (Silva, 2013).

As margens estuarinas, zonas intertidais e supratidais extensas, são constituídas maioritariamente por sedimentos vaso-arenosos. Na zona da margem Sul existem praias e restingas estuarinas associadas a sedimentos de granularidade mais grosseira. Estes encontram-se no fundo dos canais do sector inferior do estuário, nomeadamente, entre a zona de Alcochete e Cacilhas (Moreira, 2015).

### Proveniência sedimentar

Os sedimentos de origem fluvial do rio Tejo são maioritariamente arenosos. Estes sedimentos não alcançam a zona do estuário a jusante de Vila Franca de Xira o que sugere que as praias estuarinas da região interior não dependem dos mesmos. Assim, estas praias terão origem local nas formações detríticas encaixantes do estuário (Freire, 1999). As pequenas ribeiras também transportam sedimentos para o estuário estando sujeitas a um transporte restrito e, alimentam algumas praias estuarinas (Oliveira, 1967). Os sedimentos existentes no estuário resultam da erosão de rochas detríticas da orla Mesocenozóica Ocidental constituída por calcários, margas, argilitos e arenitos (Moreira, 2015), pelas formações xisto-grauváquicas e graníticas do Maciço Hespérico, predominantemente granitóides e rochas psamíticas/pelíticas que constituem a margem do Tejo (Oliveira, 1967).

Os sedimentos acima referidos refletem a erosão provocada pelo rio Tejo e pelos seus afluentes nas margens estuarinas que tem como resultado areias finas/médias e em pequenas quantidades vasa. Porém, a montante do rio e dos seus afluentes há retenção do material mais grosseiro e, portanto, o material que entra no estuário é de natureza fina sendo transportado em suspensão. As vasas estuarinas contêm normalmente uma componente orgânica que resulta do acarreo de material vegetal das zonas marginais, da acumulação de material orgânico autóctone e de origem antropogénica (Freire, 1999).

Os sedimentos de origem marinha têm uma incursão máxima que não ultrapassa o canal de embocadura sendo Belém o limite a montante destas areias. Estas são mobilizadas pela ação de ondas oceânicas com direção SW/NW de acordo com, o estudo realizado por Oliveira (1967) através de cortejos de metais pesados.

Em síntese, os sedimentos que constituem o fundo do estuário do Tejo consistem numa mistura de material fluvial e derivados marinhos, cuja distribuição reflete a resposta às variações da maré e ao fluxo do próprio estuário (Oliveira, 1967).

### Partículas em suspensão

A maior fonte de material em suspensão que atinge o estuário é o rio Tejo cuja descarga anual média de sólidos em suspensão é  $400 \times 10^6$  kg/ano (Vale & Sundby, 1987). O acarreo de material proveniente do Tejo depende da intensidade do escoamento médio do rio e da concentração de sólidos em suspensão (varia sazonalmente e inter-anual). De acordo com Vale (1990), a concentração de sólidos varia entre 4 mg/l em condições de caudal reduzido e 300 mg/l em condições de cheia.

A carga de matéria particulada em suspensão depende das condições da maré (enchente e vazante) e da capacidade de remobilização do sedimento e, consequentemente a turbidez existente. Ou seja, nas zonas onde a concentração de sedimentos em suspensão é superior a 50 mg/l ocorre o valor máximo de turbidez (Vale & Sundby, 1987).

O ciclo quinzenal da maré, intercalação de marés vivas e marés mortas, influência a quantidade de material sedimentar,  $4 \times 10^5$  toneladas e  $0,3 \times 10^5$  toneladas de sedimento, respetivamente (Vale & Sundby, 1987). Assim, comprova-se a existência de um ciclo quinzenal de erosão - sedimentação dos sedimentos no estuário do Tejo. As zonas de máxima turbidez indicam os locais onde há ressuspensão, porém são inexistentes aquando de maré morta (cuja amplitude varia entre 1 e 3 metros) começando a surgir à medida que a altura da maré aumenta (Vale & Sundby, 1987). Há uma variação longitudinal da turbidez que é condicionada pelo coeficiente de maré (Bettencourt *et al.*, 2003).

Durante o período de marés mortas a concentração de sedimentos em suspensão na coluna de água é uniforme; porém em períodos de marés vivas há uma maior concentração de sólidos em suspensão na zona Sul do estuário. Assim, a concentração de sedimentos é mais elevada em condições de baixa-mar, aumentando ao longo estuário com o consequente aumento da amplitude da maré e, portanto, é proporcional à amplitude de maré (Bettencourt *et al.*, 2003). Quando a amplitude de maré ultrapassa o seu valor médio, cerca de 2,60 m, a zona do estuário que apresenta maior turbidez é o sector superior (Vale & Sundby, 1982, in Bettencourt *et al.*, 2003; Castanheiro, 1986, in Bettencourt *et al.*, 2000). Essa zona corresponde à área de confluência do rio Sorraia com o rio Tejo, existindo uma concentração de material superior que aparenta estar relacionada (Portela, 1996 in Bettencourt *et al.*, 2003) com a proximidade às vastas áreas intertidais do estuário.

### **Taxa de Sedimentação no Estuário**

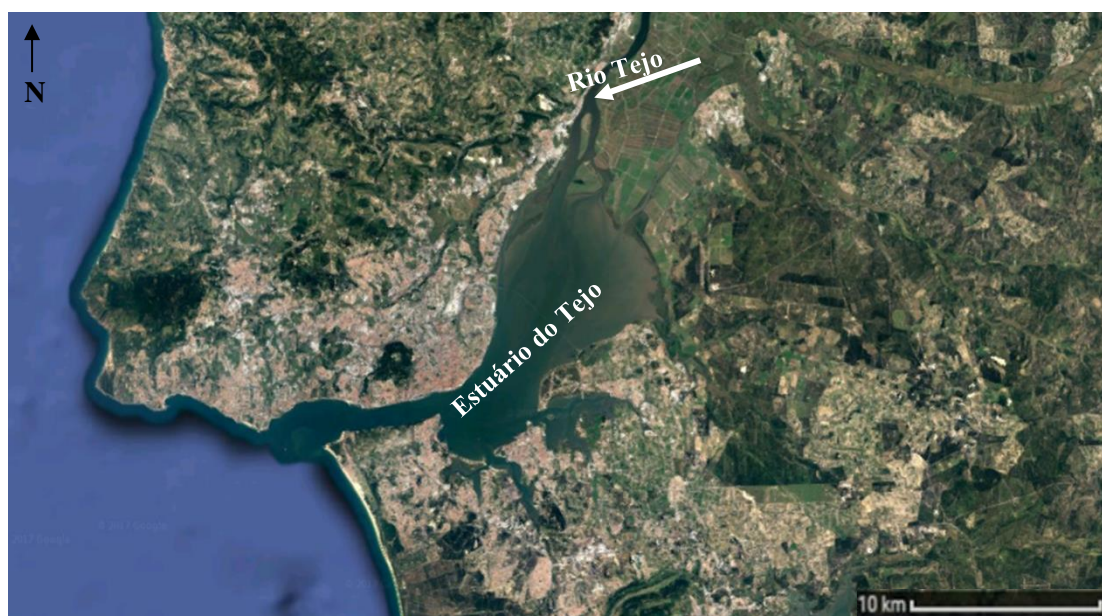
A taxa média de sedimentação calculada para o estuário em geral foi determinada por vários autores: (i) 1,1 cm/ano (Castanheiro, 1983 in Bettencourt *et al.*, 2003); (ii) Valor médio de acreção de 1 cm/ano para a cala do Norte através da comparação do balanço erosivo e assoreamento entre 1928-1986 (Freire, 1993 in Bettencourt *et al.*, 2003); (iii) Taxa de sedimentação varia entre 0,7 cm/ano e 2,2 cm/ano de acordo com a extrapolação dos isótopos ( $^{210}\text{Pb}$  e  $^{137}\text{Cs}$ ) nos sedimentos, sendo que os valores mais elevados correspondem ao sector superior do estuário do Tejo (Silva, 2013).

## Capítulo 2

### 2. Enquadramentos

#### 2.1. Enquadramento Geográfico

O rio Tejo é o maior rio da Península Ibérica, nasce em Espanha na Serra de Albarracín e desagua no Oceano Atlântico perto de Lisboa (Figura 2.1). Tem uma extensão de 1076 km dos quais 273 km em território português. A extensão da bacia hidrográfica é 80 629 km<sup>2</sup> estando apenas 30% em território nacional. É considerado um dos maiores estuários da Europa situado na costa ocidental portuguesa e limitado: a Norte pelas bacias do Douro e do Mondego, a Este pelas bacias do Ebro e Júcar e a Sul pelas bacias do Guadiana e do Sado (Bettencourt *et al.*, 2003). Desenvolve-se segundo a direção NNE-SSW e ENE-WSW, com uma morfologia distinta (a montante mais largo podendo atingir os 15 km de largura e o canal de desembocadura estreito onde este desagua).



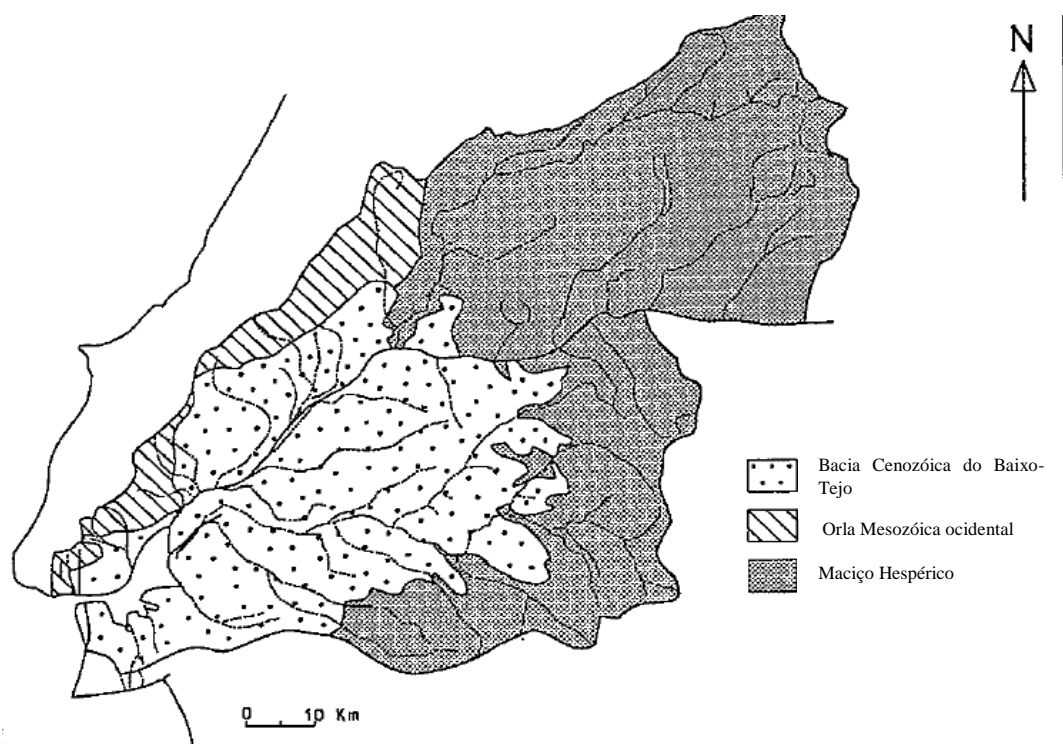
**Figura 2.1.** Localização da parte vestibular do Estuário do Tejo (retirado do Google maps).

## 2.2. Enquadramento Geológico

A bacia hidrográfica do Tejo está inserida em diferentes áreas do ponto de vista estrutural, hidrogeológico e geomorfológico. Engloba-se em três unidades principais: o Maciço Hespérico, a Orla Mesozóica Ocidental e a Bacia Terciária do Tejo-Sado (Silva, 2013) como se pode observar na Figura 2.2. A zona distal da bacia hidrográfica do rio Tejo está inserida na Bacia Cenozóica do Baixo- Tejo e Sado desenvolvendo-se uma extensa planície aluvial (atravessa estas formações de idade Terciária e Quaternária).

A zona intermédia da bacia do Tejo desenvolve-se essencialmente na unidade do Maciço Hespérico: a Norte e Nordeste atravessa unidades da zona Centro-Ibérica (grauvaques, xistos, quartzitos e granitos); a Sudeste e Leste as unidades da Ossa Morena (pelíticas, carbonatadas e granitoides); a Noroeste e Oeste as unidades da Orla Mesozóica Ocidental (carbonatadas e detríticas), segundo Freire (1999).

A bacia do Tejo é uma depressão tectónica alongada segundo NE-SW, limitada a Oeste e a Norte por formações Mesozóicas da Orla Ocidental e a Nordeste e Leste por unidades Hercínicas. É uma estrutura sub-horizontal com falhas normais nos extremos resultantes da subsidência da bacia durante o Cenozóico (Freire, 1999). As unidades do Mesozóico que compõe a cobertura da bacia na bordadura ocidental cavalgam as unidades do Cenozóico que a constituem (Ribeiro *et al.*, 1979 in Freire, 1999).



**Figura 2.2.** Enquadramento Geológico simplificado da bacia hidrográfica do Tejo, Freire (1999).

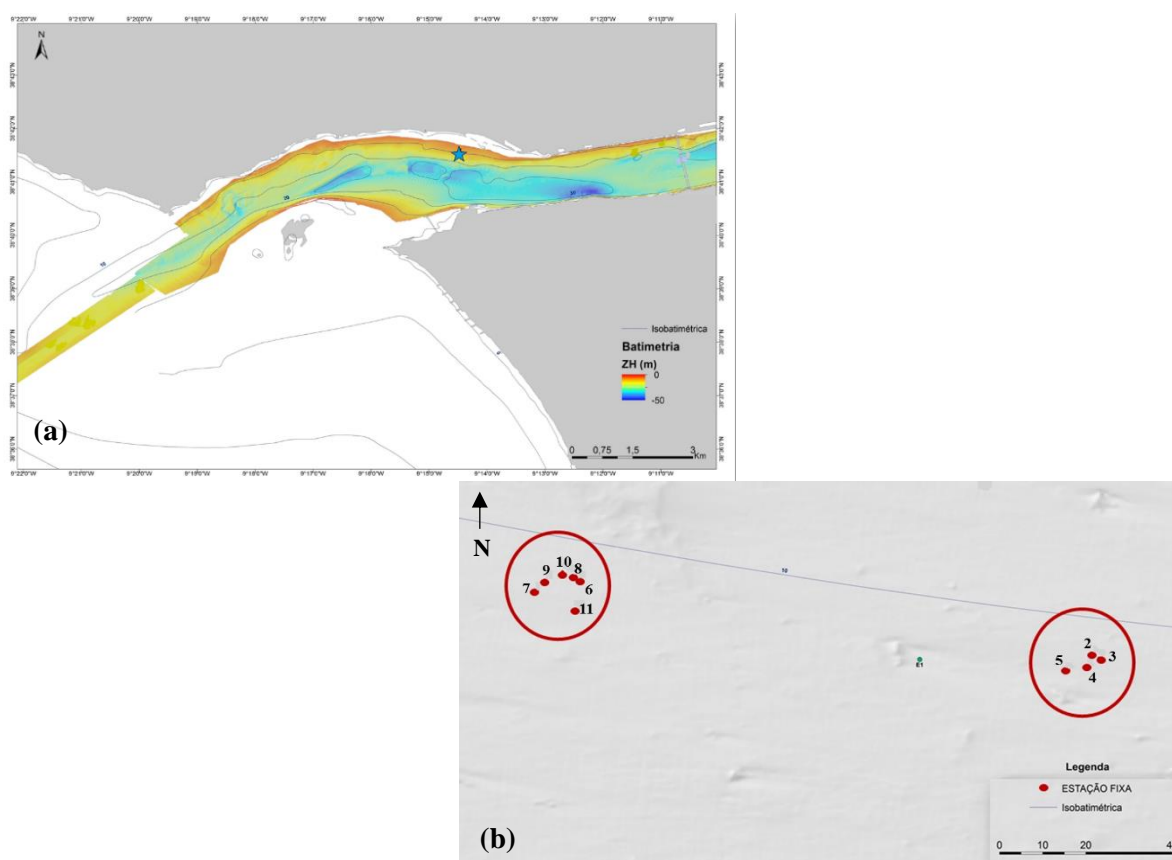
Tendo em conta as folhas 34-D (Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação), 31-A (Serviços Geológicos de Portugal) e 34-B (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), à escala 1:50 000 dos Serviços Geológicos de Portugal observa-se que as zonas marginadas pelo estuário do Tejo possuem unidades com idades compreendidas entre Jurássico e Quaternário.

## 2.3. Enquadramento da Amostragem

A estação fixa em estudo localiza-se nas imediações da desembocadura da ribeira do Jamor, afluente do Tejo. A amostragem durou cerca de 10h ao longo de um ciclo de maré no dia 12 novembro de 2015, cujo local de recolha variou entre dois sectores preferenciais (dois grupos espaciais) distantes cerca de 150 m devido às condições da maré (o navio NRP Andrómeda estava fundeado e rodou daí existir essa variação espacial) (Tabela 2.1 e Figura 2.3). Foram amostrados sedimentos de fundo a uma profundidade de 13 m e de água a 1 m da superfície. Durante este processo recolheram-se dados com o LISST, ADCP e RCM9 (métodos indiretos a referir no capítulo 3).

**Tabela 2.1.** Caraterísticas das 10 estações realizadas durante o dia 12 de novembro de 2015, junto à desembocadura do Jamor.

Estação Fixa	hora	Latitude	Longitude
# 2	12:45	38° 41.532' N	09°14.486' W
# 3	13:35	38° 41.531' N	09°14.485' W
# 4	14:40	38° 41.529' N	09°14.487' W
# 5	15:45	38° 41.529' N	09°14.491' W
# 6	16:45	38° 41.544' N	09°14.569' W
# 7	17:39	38° 41.542' N	09°14.576' W
# 8	18:38	38° 41.544' N	09°14.570' W
# 9	19:45	38° 41.544' N	09°14.574' W
# 10	20:43	38° 41.545' N	09°14.571' W
# 11	21:39	38° 41.539' N	09°14.569' W



**Figura 2.3.** Enquadramento do local em estudo com a respetiva batimetria obtida durante a campanha SEDEX 2015 (a) e a variação espacial da própria amostragem (b).

## Capítulo 3

### 3. Métodos

Este trabalho tem duas componentes a do nanoplâncton calcário e da dinâmica sedimentar estando discriminados os métodos utilizados para cada uma de forma individual.

#### 3.1. Análise de Nanoplâncton Calcário

##### 3.1.1. Análise de Nanoplâncton calcário nos filtros (em laboratório)

A análise de nanoplâncton calcário (cocosferas e cocólitos) tem por base os filtros obtidos durante um ciclo de maré para cada uma das estações (total de 10 filtros). Os filtros comportavam uma maior quantidade de material sedimentar à indicada para este tipo de estudo; porém foram analisados todos os filtros à exceção da amostra #8.

A preparação dos filtros para posterior análise microscópica foi realizada tendo em conta os seguintes passos:

Passo 1. Corte dum sector circular com aproximadamente 25° a 30° que apresente distribuição homogénea de material.

Passo 2. Fixação em preparação definitiva do sector de filtro à lâmina: colocou-se na lâmina uma porção de resina sintética (Entellan C) e o filtro. Antes de se colocar a lamela, o filtro deve absorver a resina durante 1 minuto para evitar a formação de bolhas de ar.

Passo 3. Desgaseificação do filtro em placa térmica, à semelhança da preparação das lâminas por decantação aleatória (referida abaixo na secção 3.1.2).

Passo 4. Solidificação a frio da preparação, durante aproximadamente 24h antes da sua observação ao microscópio petrográfico (Zeiss) com ampliações de x1250. Nestas condições cada campo de visão corresponde a 0,0227 mm<sup>2</sup>.

A observação dos filtros teve por base um duplo critério. Numa primeira fase foi determinado o número de campos de visão até um total de 300 cocólitos, maiores e menores que 3 µm. Este critério foi atingido para todas as amostras. Seguidamente determinou-se o número de campos de visão até se identificarem 100 cocosferas. Neste último caso apenas nos filtros #4, #5 e #6 foi atingido este objetivo. O número de campos de visão foi convertido em área observada dos filtros a qual variou entre 0,51 mm<sup>2</sup> e 3,91 mm<sup>2</sup>.

É necessário referir que devido à quantidade de sedimento comportada nos filtros ser acima do previsto tornou inobservável determinadas áreas dos filtros, sem, contudo, comprometer a obtenção de dados numéricos relativos à concentração em cocosferas (esferas) e cocólitos (Litos). Os dados da concentração de cocólitos e cocosferas permitiu aplicar o método de litos vs. esferas, proposto por Cachão & Oliveira (2000), de forma a interpretar a variabilidade das diferentes espécies.

##### 3.1.2. Análise micropaleontológica nos sedimentos (em laboratório)

Com vista à análise micropaleontológica das amostras colhidas selecionou-se 2 amostras de cada *corer* amostrado: uma do nível superficial (0-2 cm) e outra do nível imediatamente a seguir (2-4 cm), conforme detalhado no anexo C. No total foram analisadas 20 amostras de sedimentos com 3 replicados cada perfazendo um total de 60 lâminas para observação. As lâminas foram produzidas segundo o método da decantação aleatória, descrito abaixo. No caso do nível superficial analisou-se apenas a fração inferior a 500 µm e no nível seguinte observou-se a fração total.



Procedimento Prévio: A diferença entre ambas as frações dos níveis referidos está relacionada com o facto de o primeiro nível ter sido alvo de um ataque com peróxido de hidrogénio (30 a 130 volumes) que se verificou, posteriormente, não ter afetado a preservação do nanoplâncton calcário presente nos sedimentos.

Passo 1. De cada amostra foram retiradas três réplicas cada uma contendo cerca de 0,5000 g (com precisão de quatro casas decimais) de sedimento e colocadas em pequenos frascos de vidro. A cada replicado foi adicionado 10 ml de uma solução tamponada. Essa solução visou preservar o nanoplâncton calcário presente nas amostras durante os procedimentos laboratoriais. A solução tampão foi constituída por 1 litro de água destilada à qual se adicionou 0,15 g de carbonato de sódio e 0,20 g de bicarbonato de sódio. A sua suspensão foi efetuada manualmente.

Passo 2. As réplicas foram colocadas numa tina de ultrassons, durante 10 minutos, de forma a garantir a total desagregação do sedimento.

Passo 3. Procedeu-se à decantação aleatória no nanódromo: colocou-se numa caixa de petri uma lamela e preencheu-se a mesma até 2/3 com a solução tamponada. Procedeu-se à agitação de cada replicado no frasco e deixou-se repousar 1 minuto, após o qual se retirou 500 µl de amostra com recurso à micropipeta. Injetaram-se 500 µl de suspensão do replicado na caixa de petri de forma a homogeneizar a solução. Repetiu-se o procedimento para todos os replicados e deixou-se repousar durante 12 horas.

Passo 4. Retirou-se o soluto sobrenadante das caixas de petri com recurso a tiras de papel evitando o contacto destas com a lamela.

Passo 5. As amostras foram colocadas na estufa a 60°C de forma a secar completamente a lamela e o respetivo sedimento.

Passo 6. Realizaram-se preparações definitivas para cada uma das lamelas obtidas através da utilização de resina sintética (Entellan c) a frio. Efetuou-se a degaseificação das mesmas numa placa de aquecimento com o objetivo de eliminar bolhas de ar microscópicas resultantes da preparação.

Por fim, as amostras foram visualizadas ao microscópio ótico Zeiss x1250 equipado com a câmara *Olympus* DP-21 possibilitando o registo fotográfico à medida que se realizava a observação das lâminas. É necessário referir que foi analisada uma coluna em cada lâmina, ou seja, 5,1 mm<sup>2</sup>.

## 3.2. Análise sedimentológica

### 3.2.1. Análise de Matéria particulada em suspensão

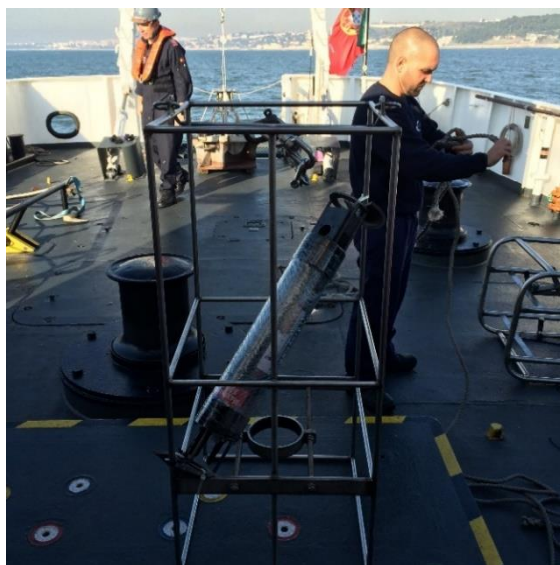
#### 3.2.1.1 Trabalho de campo

A análise da matéria particulada em suspensão foi realizada através do uso de métodos diretos e indiretos a bordo do navio NRP Andrómeda. Os métodos indiretos foram realizados recorrendo a instrumentos óticos e acústicos, entre os quais, o LISST, o ADCP e o RCM9. Por sua vez, os métodos diretos consistiram na colheita de água e posterior filtração para calibração da resposta instrumental e caracterização mineralógica das partículas em suspensão.

##### a) Análise com LISST

O LISST, *Laser In-Situ Scattering and Transmissometry*, foi um dos métodos indiretos utilizado na análise da matéria particulada em suspensão na coluna de água. Este método consiste na análise granulométrica das partículas em suspensão por difração laser a partir da qual se obtém dados referentes à dimensão e concentração das partículas em suspensão (Williams *et al.*, 2007). Uma das vantagens deste equipamento é a sua capacidade de não destruir as partículas floculadas detetando a sua dimensão, o que em laboratório é impossível devido à destruição destas partículas para posterior análise (Gartner *et al.*, 2001).

Este equipamento tem 32 anéis detetores que permitem classificar as partículas em suspensão em 32 classes dimensionais e determinar a sua concentração (Traykovski *et al.*, 1999). Dependendo do ângulo dos anéis é possível classificar o aparelho como sendo do tipo B (deteta partículas no intervalo 1,2 - 250  $\mu\text{m}$ ), C (intervalo de 2,5 - 500  $\mu\text{m}$ ) e D (intervalo de 7,5 - 1300  $\mu\text{m}$ ) que por sua vez, afeta o intervalo da dimensão de partículas que analisa. Nesta campanha utilizou-se o LISST-100x tipo C que deteta partículas no intervalo de 2,5 - 500  $\mu\text{m}$  (Figura 3.1).

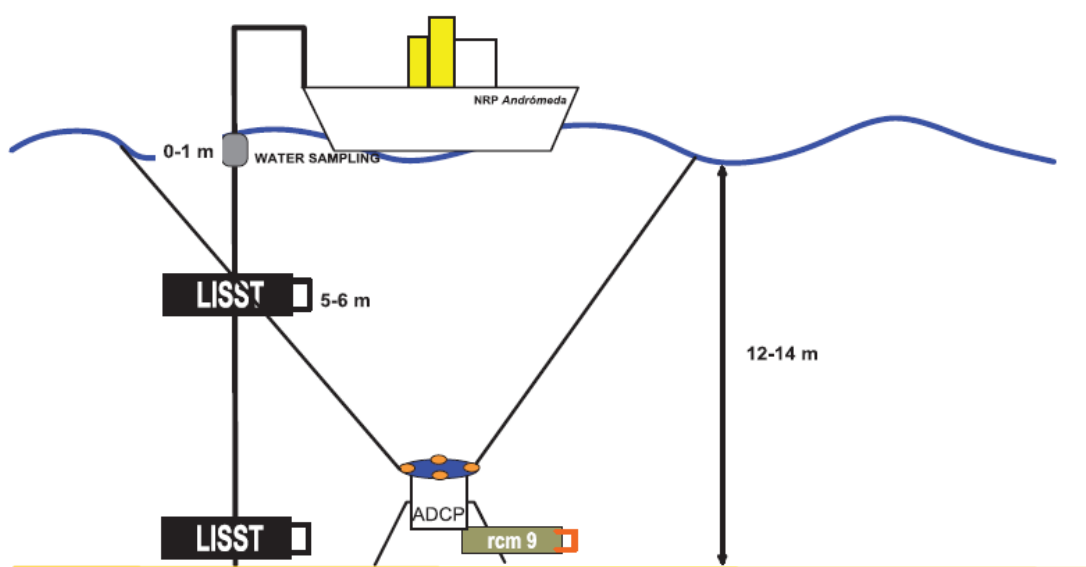


**Figura 3.1.** Equipamento de LISST-100x tipo C, *Particle Size analyzer user's manual, versão 4.65, SEQUOIA* utilizado nas medições durante o projeto SEDEX 2015 pela equipa do Instituto Hidrográfico.

Durante a amostragem foram realizados perfis de hora a hora, durante 10 horas, no local onde se efetuou as colheitas de sedimentos de fundo e de amostras de água. Para cada estação obtiveram-se dados referentes a meio da coluna de água e junto ao fundo de temperatura, profundidade, média, desvio-padrão, volume da concentração total, D10, D16, D50, D60, D84, D90, assimetria, área analisada, densidade, volume de silte e as classes dimensionais das partículas analisadas entre 2,72  $\mu\text{m}$  (classe 1) e 460,27  $\mu\text{m}$  (classe 32).

## b) Análise com ADCP

O ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) é um *backscatter* acústico utilizado para medições em ambientes estuarinos costeiros e *offshore* (Figura 3.2). Este equipamento faz medições durante longos períodos de tempo permitindo quantificar e validar as movimentações das massas de água (Drozdowski & Greenan, 2013). O aparelho de ADCP utilizado foi o de 1200 kHz que forneceu dados da magnitude da corrente, direção da corrente, temperatura e profundidade ao longo da coluna de água. Os dados são dispostos em *bin's* (vários níveis que mede desde o fundo até à superfície em metros) e *ensembles* (correspondentes à variação temporal). Neste caso o primeiro *bin* foi a 1,61 m, medindo de 0,5 m em 0,5 m, com um intervalo de 300 s cada, registando o dia e a hora de cada medição.



**Figura 3.2.** Representação esquemática dos *proxies* dos sedimentos em suspensão: LISST, ADCP e RCM9, com uma inter-relação qualitativa boa (Santos *et al.*, 2016).

## c) Análise com RCM9

O RCM9 é um medidor de corrente colocado junto ao fundo, neste caso a 0,75 m do fundo (Figura 3.2) equipado com sensores que determinaram a velocidade da corrente, direção da corrente, salinidade, temperatura, pressão, profundidade e turbidez. Este sensor funciona de acordo com o princípio *Doppler*, transmitindo impulsos acústicos que se propagam e são refletidos na água (uma pequena porção) sendo posteriormente detetados por sensores transdutores. Assim, é possível analisar as correntes de fundo e detetar a entrada/saída de massas de água durante o ciclo de maré.

## d) Amostragem da coluna de água

Nos locais onde foram realizadas as restantes amostragens/análises efetuou-se a colheita de água a aproximadamente 1 m da superfície através de um contentor de plástico. As amostras de água foram guardadas em recipientes devidamente identificados.

### 3.2.1.2. Trabalho laboratorial

#### a) Análise de dados LISST/ADCP/RCM9

No fim, através dos métodos indiretos obteve-se uma folha de *Excel* com os dados em bruto que foram posteriormente analisados. Os dados foram trabalhados recorrendo ao software *Grapher 9* que permitiu uma melhor representação dos mesmos e a sua inter-relação.

#### b) Análise das amostras de água

As amostras de água armazenadas a bordo foram filtradas nas 24 horas seguintes em filtros de acetato de celulose, com 0,45 µm de porosidade e 47 mm de diâmetro (43 mm dos quais são considerados área útil). No total foram filtradas 20 amostras com cerca de 2 L em cada filtro (Tabela 3.1) e com dois replicados cada. Os filtros foram secos a 40°C durante 24 horas e posteriormente analisados. Estes filtros foram utilizados em ambas as componentes desta dissertação de mestrado, nomeadamente, na identificação de nanoplâncton calcário e caracterização mineralógica das partículas em suspensão.

De seguida, estes filtros foram analisados por difração raios-X para a análise da mineralogia das partículas em suspensão.

**Tabela 3.1.** Valores relativos ao volume filtrado de água em cada uma das amostras colhidas a bordo do navio NRP Andrómeda.

Amostras	Volume filtrado (l)
#2	2,345
#3	1,860
#4	2,030
#5	2,030
#6	1,810
#7	2,050
#9	1,760
#10	1,775
#11	1,810

### 3.2.2. Análise das partículas de fundo

#### 3.2.2.1 Trabalho de campo

Os sedimentos de fundo foram colhidos com recurso a uma draga *Smith-McIntyre*. As dragagens foram efetuadas de hora a hora no mesmo local (numa área de 150 m). No interior da draga foram enterrados na vertical três tubos de PVC (76 mm de diâmetro e 250 mm de comprimento) designados *mini-corers*. Estes permitiram preservar as estruturas sedimentares, a realização de análises geofísicas *à posteriori* (velocidade das ondas P e suscetibilidade magnética) e o seu registo fotográfico.

Os três mini-*corers* colhidos em cada dragagem foram devidamente identificados e selados para a sua posterior análise em meio laboratorial (Figura 3.3a e Figura 3.3b).



**Figura 3.3.** Mini-*corer* enterrado no material colhido pela draga (a); Mini-*corer* aberto ao meio (b).

### 3.2.2.2 Trabalho laboratorial

#### a) Ensaios Granulométricos

Nos sedimentos de fundo utilizaram-se dois métodos nos ensaios granulométricos: o método da peneiração e o método da difração laser de acordo com, as normas técnicas do IH NT.LB.22 v01.01 de 20-04-2015 e NT.LB.23 v02.02 de 20-04-2015, respetivamente.

Passo 1. Eliminação total da matéria orgânica presente nas amostras com ataque de peróxido de hidrogénio ( $H_2O_2$ ), entre 30 a 130 volumes, de forma faseada e durante o tempo necessário.

Passo 2. Separação a húmido de uma porção de cada amostra com o auxílio de um peneiro de 500  $\mu m$ .

Passo 3.a) A fração retida no peneiro superior a 500  $\mu m$  é seca a 105°C e, posteriormente, peneirada para a separação em classes granulométricas diferenciadas (classes de 0,5  $\phi$  em 0,5  $\phi$ ).

Passo 3. b) A fração inferior a 500  $\mu m$  é seca a 105°C e, seguidamente, analisada no sedimentógrafo laser, Malvern Mastersizer 2000. Este equipamento analisa o tamanho e a distribuição das partículas numa gama dimensional situada entre os 0,02  $\mu m$  e 2000  $\mu m$ .

#### b) Ensaios dos teores de carbono

Para determinar os teores em carbono utilizou-se o equipamento *SKALAR Primacs* SN100907, nomeadamente, o Carbono Orgânico Total (COT), o Carbono Total (CT) e o Carbono Inorgânico Total (CIT) através da espectrometria de absorção de infravermelho não dispersiva no sedimento, tendo em conta, as normas NT.LB.26 v02.00 e a NT.LB.29 v02.00

Passo 1. Inicialmente secou-se a amostra na estufa a 105°  $\pm$  5°C.

Passo 2. Procedeu-se à homogeneização dos sedimentos num moinho de ágata garantindo desta forma uma dispersão mínima ou mesmo nula durante a análise.

Passo 3. Calibração do equipamento com carbonato de cálcio.

Passo 4. a) Determinação do carbono inorgânico (CIT) através da acidificação da amostra num vaso de reação e purga com uma corrente gasosa livre de dióxido de carbono.

Passo 4. b) Determinação do carbono total em que a amostra é calcinada no interior do tubo de combustão à temperatura adequada enquanto o dióxido de carbono resultante da reação é conduzido ao analisador onde é detetado e medido.

Passo 4. c) O valor de carbono orgânico total das amostras é obtido pelo método da diferença  $COT = CT - CIT$ .

A percentagem de carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) foi obtida através da multiplicação do valor de carbono inorgânico total (CIT) por 8,33 e, a percentagem de matéria orgânica obteve-se multiplicando-se o valor de carbono orgânico total (COT) por 2.

### **c) Ensaios de difração raios-X da fração silto-argilosa**

Para a análise composicional da fração fina, silto-argilosa ( $<63 \mu m$ ) recorreu-se à análise por difração de raios-X.

Passo 1. Separou-se uma alíquota da amostra total que é sujeita à destruição de matéria orgânica com peróxido de hidrogénio, a 10 volumes e, que é posteriormente lavada.

Passo 2. A amostra foi de seguida crivada a húmido com água destilada obtendo-se a fração inferior a 0,625 mm.

Passo 3. Secagem da amostra na estufa a  $40^\circ C$ , seguido da desagregação recorrendo a uma leve moagem num almofariz de ágata do qual se retirou posteriormente uma porção de  $\sim 1$  g.

Passo 4. Colocou-se a amostra com o mínimo de compressão na cavidade do porta-amostras de inox para que não existisse uma orientação cristalina preferencial.

Passo 5. Análise no difractómetro de raios-X, da *PAnalytical*, usando radiação  $CuK\alpha$  com varrimentos entre os  $2^\circ$  e  $60^\circ 2\theta$ .

Passo 6. A semi-quantificação dos minerais presentes nas amostras foi feita no software X'Pert HighScore v.1.0f.

## Capítulo 4

### 4. Resultados

#### 4.1. Coluna de água

##### 4.1.1 Análise de Nanoplâncton calcário

O principal objetivo era determinar qual a influência da maré no conteúdo em nanoplâncton calcário presente na coluna de água e nos sedimentos de fundo.

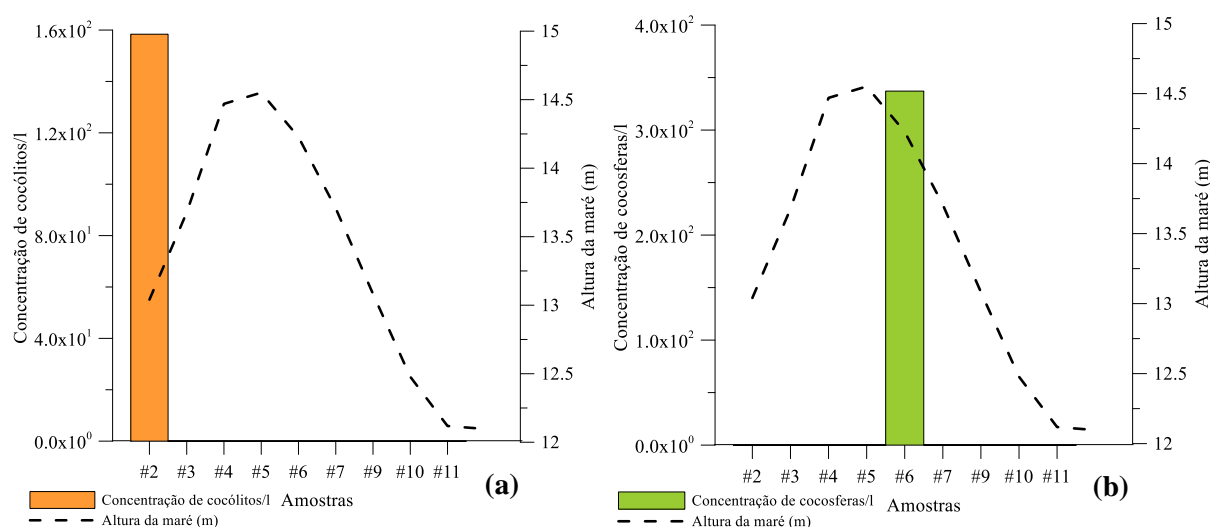
As espécies identificadas, tanto na forma de cocólitos como cocosferas nas amostras foram: *Braarudosphaera bigelowii*, *Calcidiscus leptoporus*, *Coccolithus pelagicus*, *Coronosphaera mediterranea*, *Emiliana huxleyi*, *Gephyrocapsa ericsonii*, *Gephyrocapsa muelleriae*, *Gephyrocapsa oceanica* e *Helicosphaera carteri*.

Neste caso as amostras que caraterizam a fase de enchente da maré são a #2, #3 e #4, enquanto o estofo da maré está representado pelas estações #5 e #6 e, por fim, a vazante corresponde às restantes estações (#7, #9, #10, #11). Nos gráficos seguintes (secção 4.1.1.1.) apresentados o filtro referente à estação #8 não aparece porque a concentração de sedimentos no filtro era demasiado elevada impossibilitando a observação de nanoplâncton calcário de forma correta.

##### 4.1.1.1. Variação de cocólitos e cocosferas em cada espécie

###### *Braarudosphaera bigelowii*

A espécie da *B. bigelowii* foi detetada em concentrações muito reduzidas devido ao seu carácter pontual. Quer ao nível dos cocólitos, quer de cocosferas, apenas se detetou um indivíduo na porção de filtro observado. Os cocólitos desta espécie foram observados na estação #2, Figura 4.1a e as cocosferas na estação #6, Figura 4.1b.

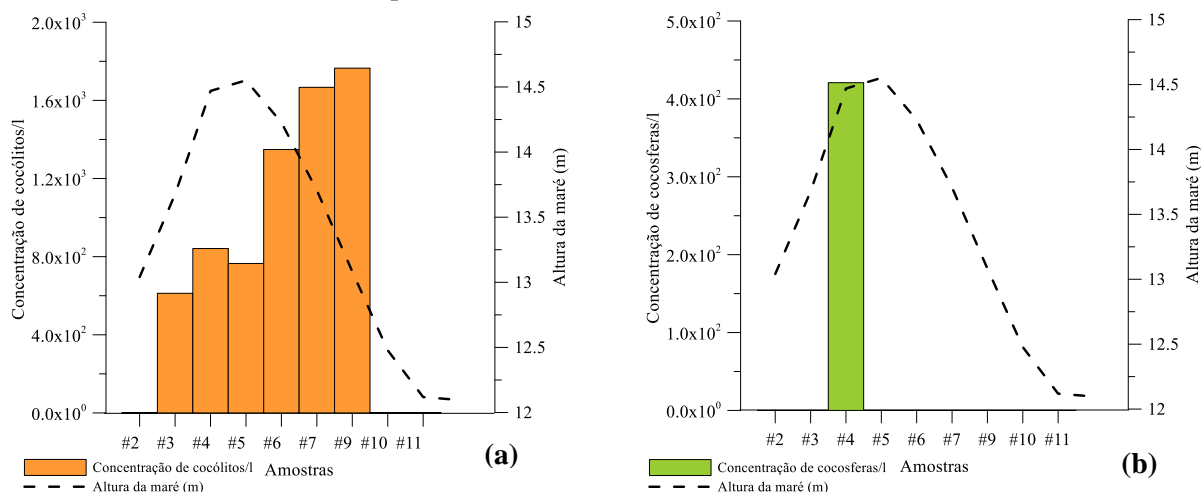


**Figura 4.1.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *B. bigelowii* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

### *Calcidiscus leptoporus*

Na Figura 4.2a observou-se que o valor inicial da concentração de cocólitos é nulo (#2), seguido de um aumento da concentração nas estações #3 e #4 correspondente à fase de enchente. No estófo da maré, nomeadamente na estação #5, ocorreu um ligeiro decréscimo da concentração de cocólitos/l. Posteriormente, a concentração de cocólitos atingiu o valor máximo na estação #9, de  $1,76 \times 10^3$  cocólitos/l, representativa da fase de vazante. Nas duas últimas estações não foram detetados cocólitos.

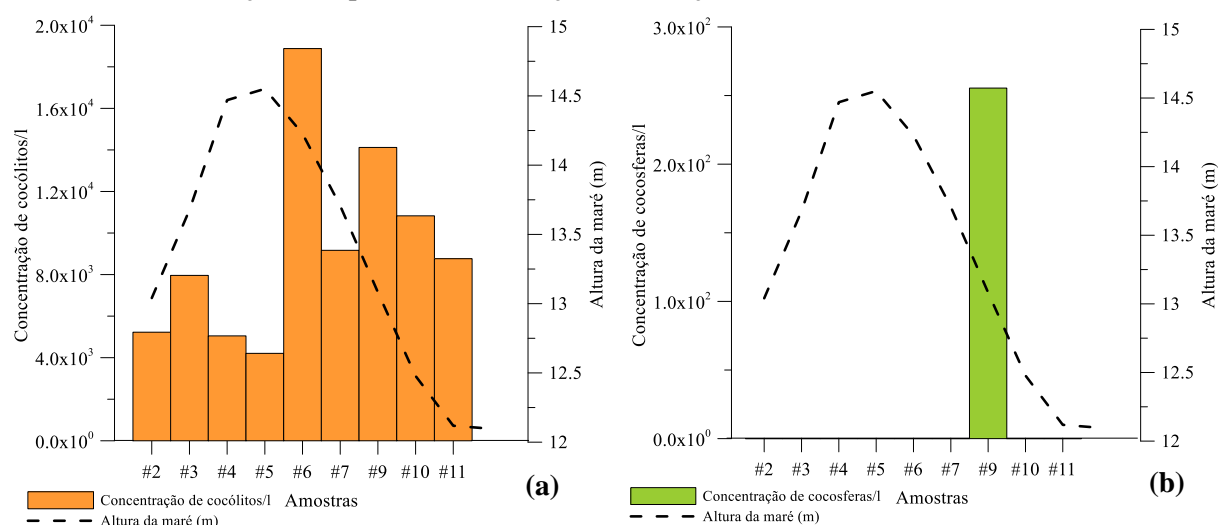
No gráfico da variação de cocosferas/l, Figura 4.2b, esta espécie foi detetada apenas na estação #4 ( $4,21 \times 10^2$  cocosferas/l), correspondente à fase de enchente.



**Figura 4.2.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *C. leptoporus* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

### *Coccolithus pelagicus*

Na Figura 4.3a constatou-se a entrada de cocólitos desta espécie na primeira estação,  $5,23 \times 10^3$  cocólitos/l. O pico da concentração é de  $1,89 \times 10^4$  cocólitos/l na estação #6, antecedido e precedido, por uma diminuição desse mesmo valor nas estações #5 e #7. Após este decréscimo houve um aumento na estação #9 e posterior diminuição nas estações #10 e #11.



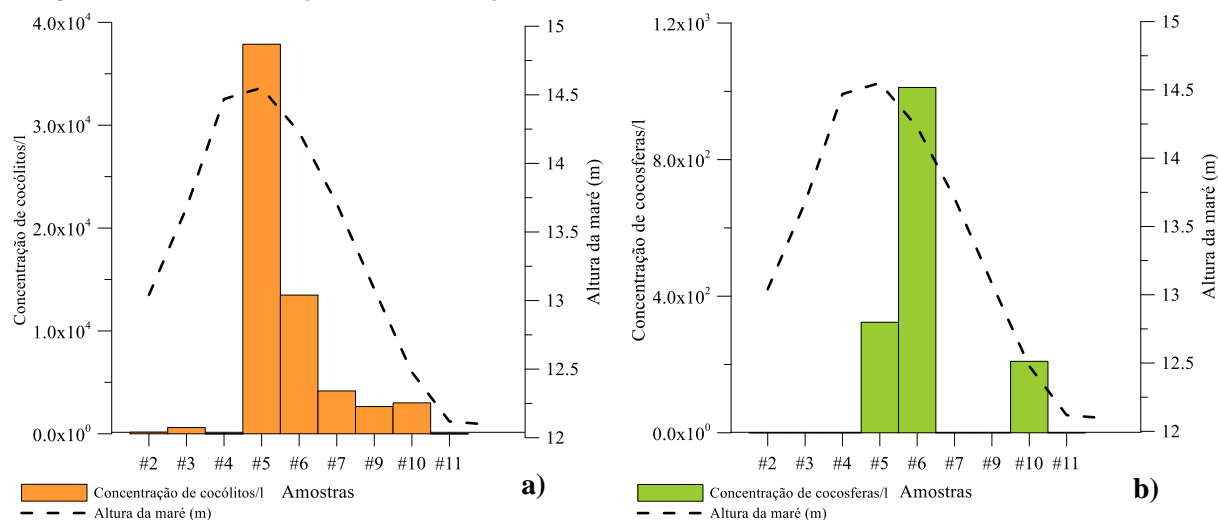
**Figura 4.3.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *C. pelagicus* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).



No caso da variação de cocosferas da espécie *C. pelagicus*, representada na Figura 4.3b, apenas se verificou a existência de cocosferas numa das estações, a estação #9, coincidente com o pico evidenciado no gráfico da Figura 4.3a de cocólitos.

### *Coronosphaera mediterranea*

A concentração de cocólitos/l da *C. mediterranea* durante a enchente (estações #2, #3 e #4) é baixa como mostra a Figura 4.4a. Na estação #5, no estofo da maré, houve um pico na concentração de  $3,79 \times 10^4$  cocólitos/l. A partir desta estação, durante a fase de vazante, as concentrações decresceram até atingirem uma concentração nula na estação final (#11).



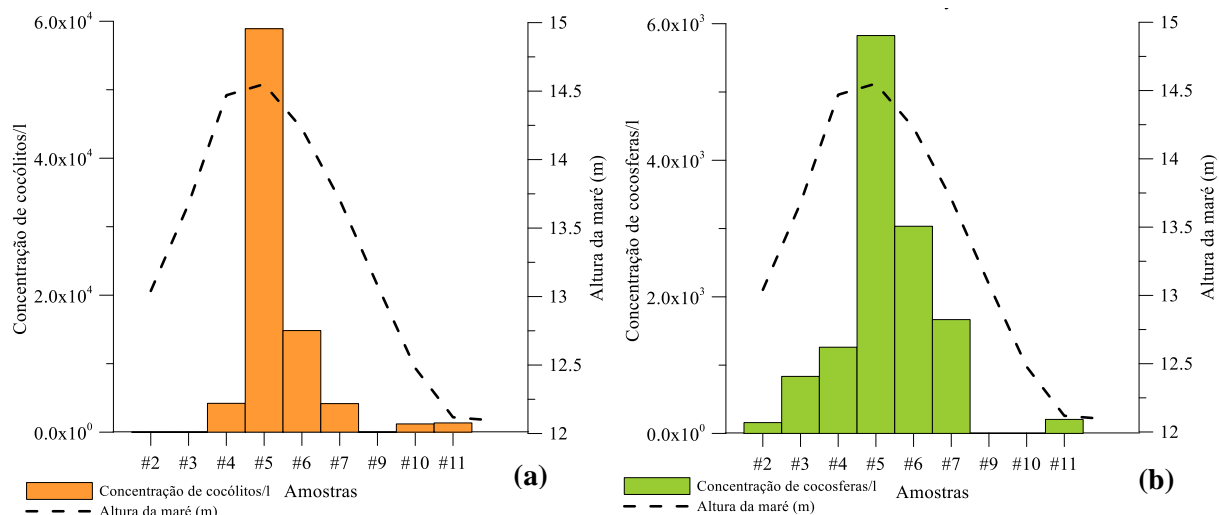
**Figura 4.4.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *C. mediterranea* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

O gráfico da Figura 4.4b mostra a variação de cocosferas ao longo do período de amostragem detetando-se cocosferas desta espécie apenas nas estações #5, #6 e #10. O valor máximo da concentração de cocosferas foi detetado na estação #6, no estofo da maré, cuja concentração é  $1,01 \times 10^3$  cocosferas/l.

### *Emiliania huxleyi*

Nas estações #2 e #3, fase de enchente, os valores eram nulos (Figura 4.5a) e aumentaram até atingirem o máximo de concentração de cocólitos ( $5,89 \times 10^4$  cocólitos/l) no estofo da maré, estação #5. No início da fase de vazante a concentração de cocólitos/l desta espécie diminuiu progressivamente até atingir valores nulos na estação #9.

Na Figura 4.5b o número de cocosferas inicial (#2) é  $1,58 \times 10^2$  cocosferas/l aumentando até atingir o valor máximo na estação #5 ( $5,83 \times 10^3$  cocosferas/l), no estofo da maré, contrariamente ao que foi observado na Figura 4.5a. Entre as estações #6 e #9 os valores decaíram atingindo mesmo zero (#9 e #10), verificando-se que na fase de vazante a concentração tende a diminuir.

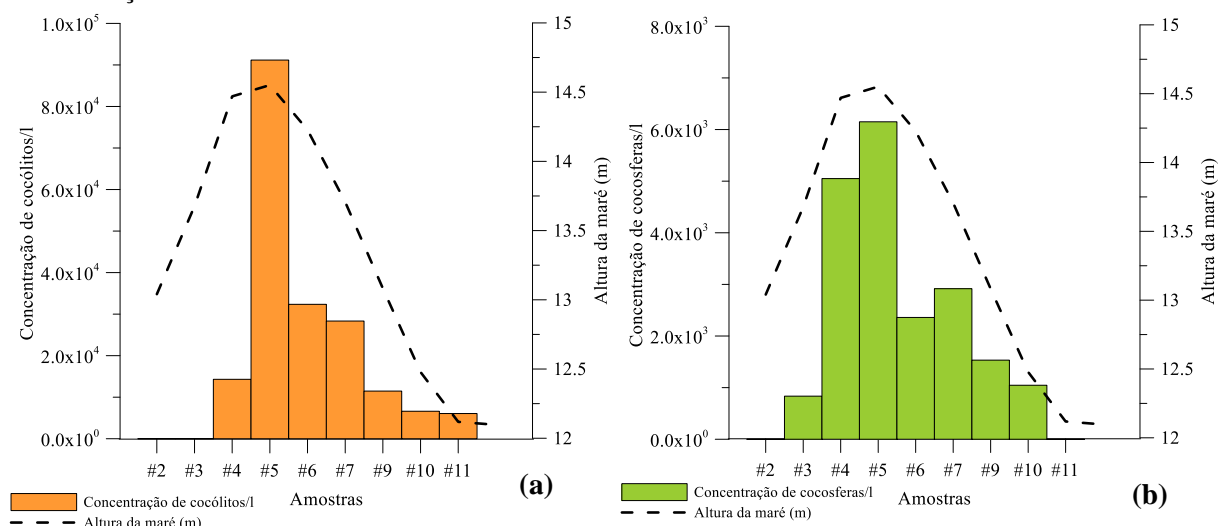


**Figura 4.5.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *E. huxleyi* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

### *Gephyrocapsa ericsonii*

Na Figura 4.6a observou-se que durante a enchente, nas duas estações iniciais, o valor de cocólitos/l é nulo existindo um pequeno aumento na estação #4. O máximo da concentração de cocólitos/l desta espécie ocorreu no estófo da maré, na estação #5, com um valor de  $5,23 \times 10^3$  cocólitos/l. A partir desta estação os valores de concentração decresceram (início da fase de vazante) atingindo o valor de concentração mínima de  $6,07 \times 10^3$  cocólitos/l na estação #11.

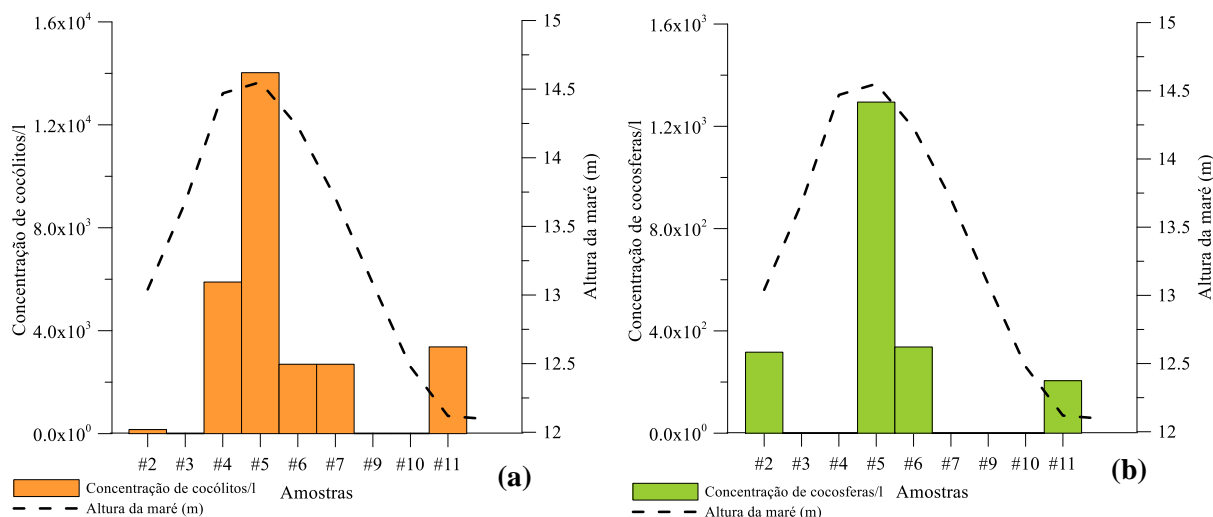
A concentração de cocosferas/l desta espécie obteve valor nulo na estação inicial (estação #2) e na estação #3 atingiu o valor mínimo de  $8,35 \times 10^2$  cocosferas/l (Figura 4.6b). Como se constata na Figura 4.6a também o máximo de concentração de cocosferas foi atingido no estófo da maré, na estação #5, com um valor de  $6,15 \times 10^3$  cocosferas/l. Nas estações seguintes, já na fase de vazante, a concentração manteve-se entre  $1,05 \times 10^3$  cocosferas/l e  $2,92 \times 10^3$  cocosferas/l exceto na última estação em que a concentração era nula.



**Figura 4.6.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *G. ericsonii* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

### *Gephyrocapsa muelleriae*

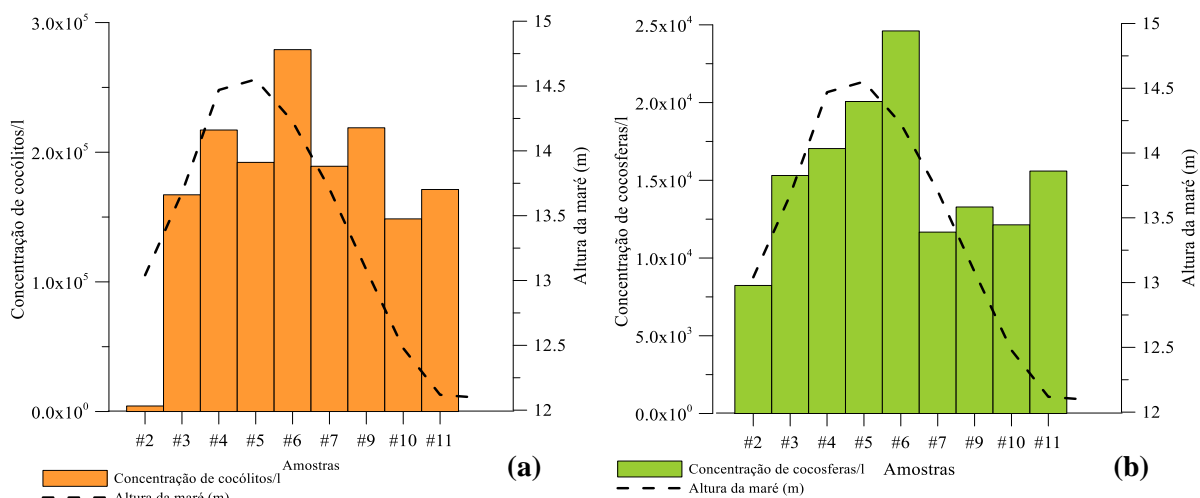
A concentração de *G. muelleriae* durante a fase de enchente teve valores baixos na estação #2 e nulos na estação #3 (Figura 4.7a). Na estação #4 houve um aumento da concentração, porém atingiu o seu valor máximo no estófo da maré de  $1,40 \times 10^4$  cocólitos/l (estação #5). Após este pico houve um decréscimo da concentração de cocólitos/l que se manteve constante nas estações #6 e #7. Nas estações #9 e #10, período de vazante, os valores de concentração eram nulos existindo na estação #11 um aumento da concentração para  $3,37 \times 10^3$  cocólitos/l. Relativamente à variação de cocosferas de *G. muelleriae*, na Figura 4.7b, apenas foram observadas nas estações #2, #5, #6 e #11, atingindo o máximo de concentração durante o estófo da maré de  $1,29 \times 10^3$  cocosferas/l (estação #5).



**Figura 4.7.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *G. muelleriae* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

### *Gephyrocapsa oceanica*

Na Figura 4.8a, o número de cocólitos/l inicial (estação #2) era de uma ordem de grandeza inferior às restantes estações,  $4,28 \times 10^3$  cocólitos/l. A concentração de cocólitos/l desta espécie oscilou, apesar de não se observar variações bruscas, manteve-se praticamente “constante”. Nas estações #2, #3 e #4, fase de enchente, a concentração teve tendência a aumentar atingindo o máximo de concentração/l no estófo da maré, estação #6. Na estação #7 houve um decréscimo da concentração que corresponde ao início da vazante, oscilando entre  $1,49 \times 10^5$  e  $2,19 \times 10^5$  cocólitos/l.

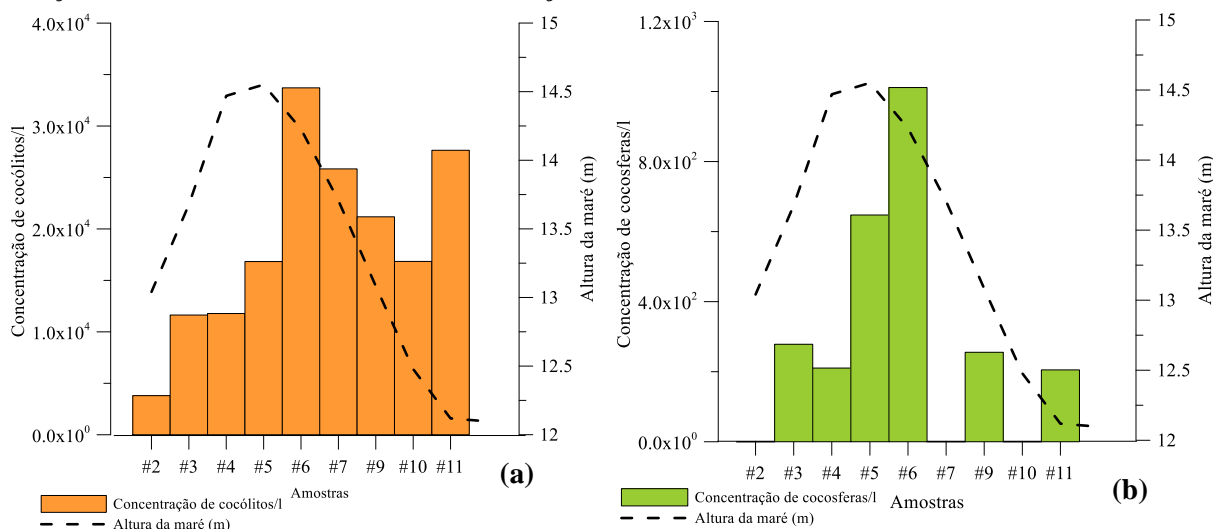


**Figura 4.8.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *G. oceanica* durante o ciclo de maré representado pela altura da maré (m) (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

A concentração de cocosferas teve valores mínimos na estação #2, durante a enchente, aumentando progressivamente até ao estófo da maré, estação #6, onde foi atingido o máximo de concentração  $2,79 \times 10^5$  cocosferas/l (Figura 4.8b). Nas restantes amostras correspondentes à fase de vazante a concentração de cocosferas diminuiu mas nunca para valores nulos.

### *Helicosphaera carteri*

A espécie *H. carteri* teve uma menor concentração de cocólitos/l na estação inicial (#2), de  $3,80 \times 10^3$  cocólitos/l (Figura 4.9a), tal como se verificou na espécie *G. oceanica*. Nas estações seguintes houve uma estabilização desses valores (estações #3 e #4) aumentando a partir destas. O valor máximo foi atingido na estação #6, de  $3,37 \times 10^4$  cocólitos/l, diminuindo durante a fase de vazante. Porém, na estação final houve um aumento na concentração no valor de  $2,76 \times 10^4$  cocólitos/l.



**Figura 4.9.** Variação de cocólitos (a) e cocosferas (b) de *H. carteri* ao longo da amostragem (nota: a escala dos gráficos têm ordens de grandeza diferentes).

A Figura 4.9b mostra que a variação de cocosferas/l atingiu o valor máximo da concentração na estação #6 ( $1,01 \times 10^3$  cocosferas/l) tal como se verificou na concentração de cocólitos (Figura 4.9a).

#### 4.1.1.2 Análise de (coco)litos vs (coco)esferas

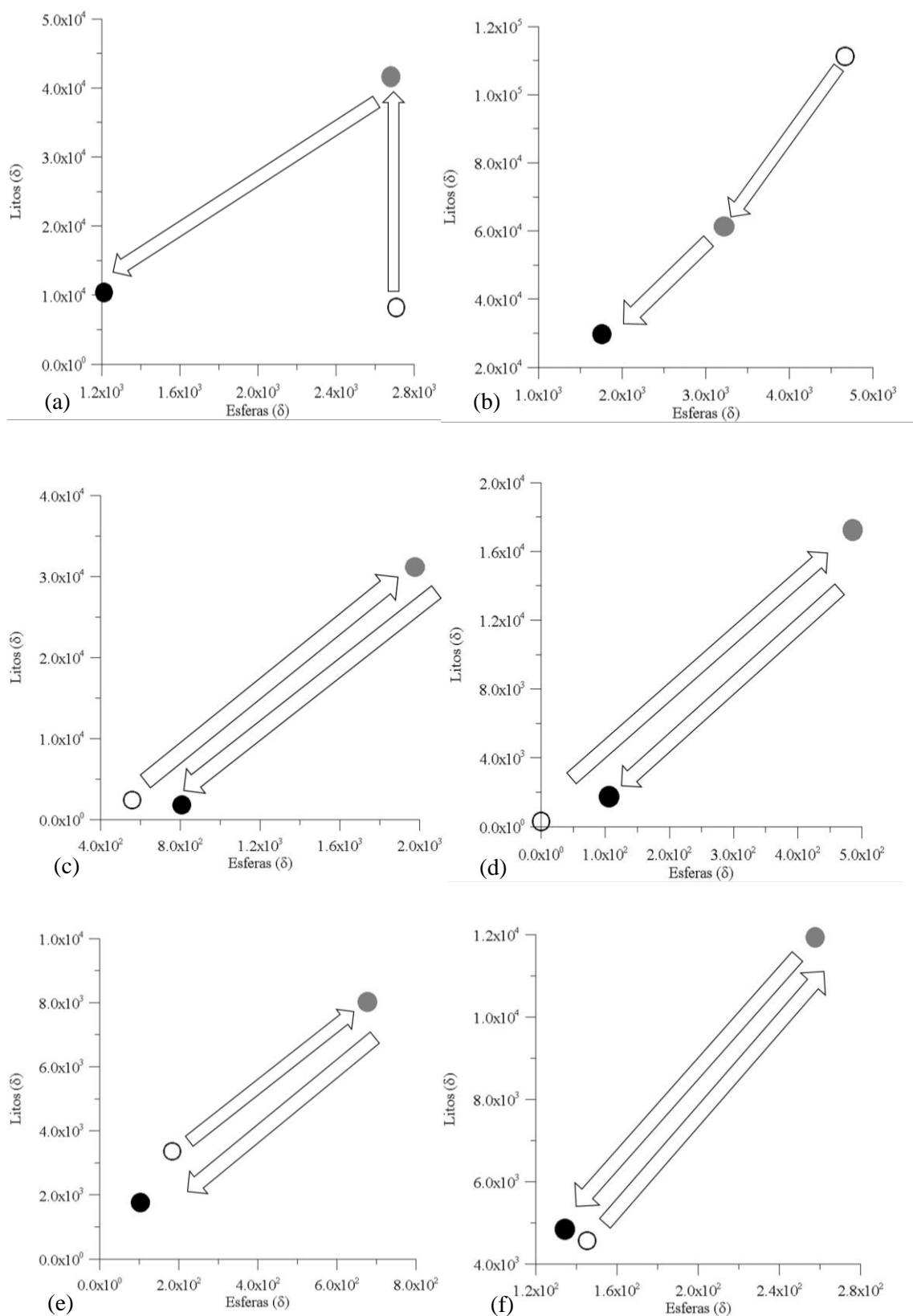
Na observação dos filtros fez-se a contagem de cocosferas e cocólitos das seguintes espécies: *B. bigelowii*, *C. leptoporus*, *C. pelagicus*, *C. mediterranea*, *E. huxleyi*, *G. ericsonii*, *G. muelleriae*, *G. oceanica* e *H. carteri*. Nas espécies *B. bigelowii*, *C. leptoporus* e *C. pelagicus* os valores de cocosferas são pontuais e, portanto, foram descartados da análise em causa. As restantes espécies foram analisadas em conjunto através da abordagem (coco)litos vs. (coco)esferas. Para se aplicar este método dividiram-se as estações nas três fases da maré, a fase de enchente (#2, #3, e #4), o estófo da maré (#5 e #6) e a fase de vazante (#7, #9, #10 e #11). Os dados de concentração permitiram o cálculo do desvio - padrão de cocólitos e cocosferas para cada um dos grupos. Desta forma, obteve-se um ponto em cada situação referente às três fases do ciclo de maré. Cada um destes pontos foi projetado num gráfico de dispersão para caracterizar o comportamento de cada espécie e o seu possível desenvolvimento dentro do estuário analisando a sua variância (Figura 4.10).

Da análise da Figura 4.10 verificou-se que as espécies *G. ericsonii* e *G. oceanica* têm um comportamento diferente das restantes espécies.

A espécie *G. ericsonii*, Figura 4.10a, apresentou durante a fase de enchente uma maior variabilidade de esferas e menor de litos. Durante o estófo da maré a variabilidade de esferas manteve-se, porém houve um aumento da produção de litos. Na fase de vazante houve uma diminuição de litos e de esferas, ou seja, a variabilidade desta espécie diminuiu.

Na espécie *G. oceanica*, Figura 4.10b, observou-se uma elevada variabilidade de esferas e litos durante a enchente. Na fase seguinte, estófo da maré, ocorreu uma diminuição da variabilidade tanto de litos como de esferas. A variabilidade continuou a diminuir durante a fase de vazante.

As espécies *C. mediterranea*, *E. huxleyi*, *G. muelleriae* e *H. carteri* tiveram exatamente o mesmo comportamento como se pode observar na Figura 4.10c, Figura 4.10d, Figura 4.10e, Figura 4.10f, respetivamente. Inicialmente a variabilidade de litos e esferas foi reduzida. Durante o estófo da maré teve tendência a aumentar progressivamente indicando o desenvolvimento de novas células. Na fase de vazante houve uma diminuição da variabilidade de litos e esferas retornando a valores semelhantes à fase de enchente.

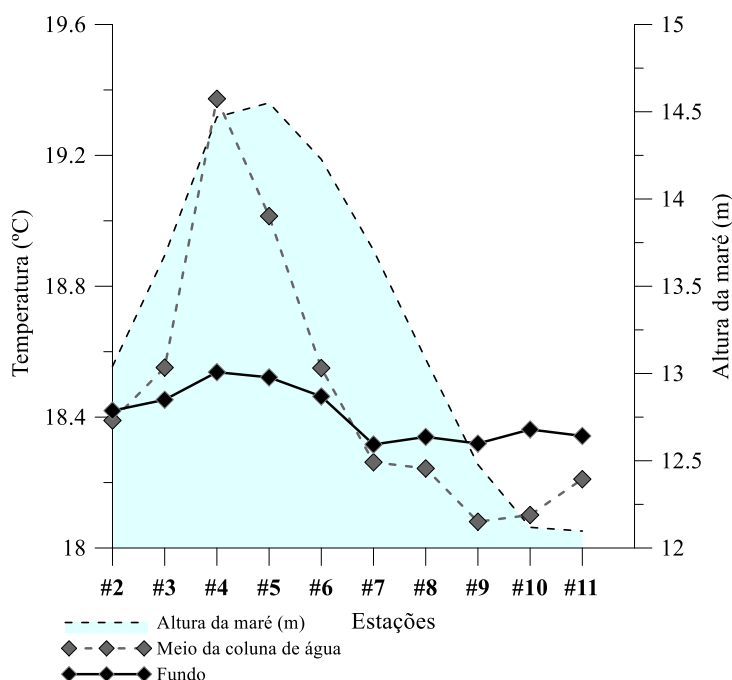


**Figura 4.10.** Modelo Litos vs. Esferas (círculo branco – fase de enchente, círculo cinzento – estofo e círculo preto – vazante) das espécies *G. ericsonii* (a); *G. oceanica* (b); *E. huxleyi* (c); *C. mediterranea* (d); *G. muelleriae* (e); *H. carteri* (f).

## 4.1.2. Resultados dos parâmetros físicos da coluna de água (temperatura, salinidade, correntes e características dos sedimentos em suspensão)

### 4.1.2.1 Temperatura e salinidade

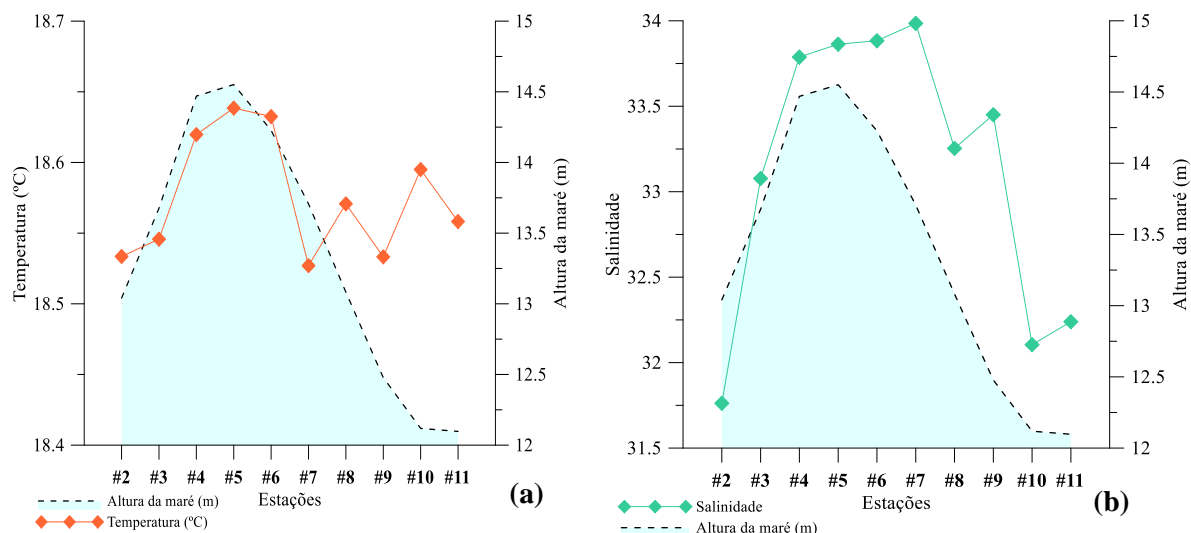
A Figura 4.11 mostra a variação da temperatura obtida pelo LISST durante o ciclo de maré. Observa-se que junto ao fundo os valores de temperatura são mais baixos ( $18,41^{\circ}\text{C}$ ) enquanto a meio da coluna de água estes valores são mais elevados ( $18,48^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura junto ao fundo oscila entre  $18,32^{\circ}\text{C}$  e os  $18,54^{\circ}\text{C}$ . Por outro lado, a meio da coluna de água há uma maior variação dos valores entre  $18,08^{\circ}\text{C}$  e  $19,37^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.11.** Variação da temperatura junto ao fundo (linha a cheio preta) e a meio da coluna de água (linha a tracejado cinza) obtidos pelo aparelho LISST 100-X consoante a variação da altura da maré (zona sombreada) durante o ciclo de maré.

Os parâmetros de salinidade e temperatura obtidos pelo RCM9 apenas nos deram informação sobre a massa de água junto ao fundo. A temperatura de acordo com a Figura 4.12a oscila entre os  $18,53^{\circ}\text{C}$  e  $18,64^{\circ}\text{C}$ . Esta informação apenas nos permite inferir que na fase de enchente a água estava mais quente, porque é proveniente de ambiente marinho, enquanto na fase de vazante (#7, #8, #9, #10, #11) a água é mais fria, proveniente do rio, tal como verificado nos dados do LISST.

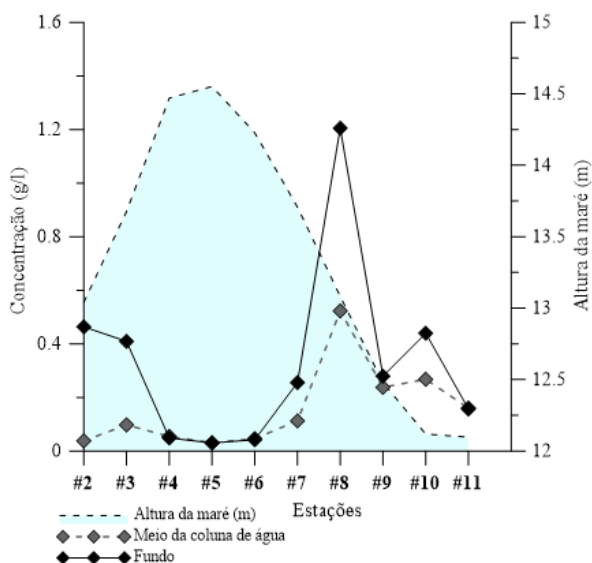
A Figura 4.12b mostra que a salinidade varia significativamente entre 31,8 e 34,0. Na fase de enchente (#2, #3, #4) houve um aumento de salinidade de 31,8 para 34,0 mantendo-se constante no estófo da maré (#5 e #6) a 34,0. Nas estações da fase de vazante (#8, #9, #10 e #11) houve um decréscimo da salinidade de 34,0 (#7) para 32,2 (#11).



**Figura 4.12.** Variação de temperatura (a) e salinidade (b) ao longo do ciclo de maré do RCM9 (a sombreado está representada a variação da altura da maré).

#### 4.1.2.2 Partículas em suspensão

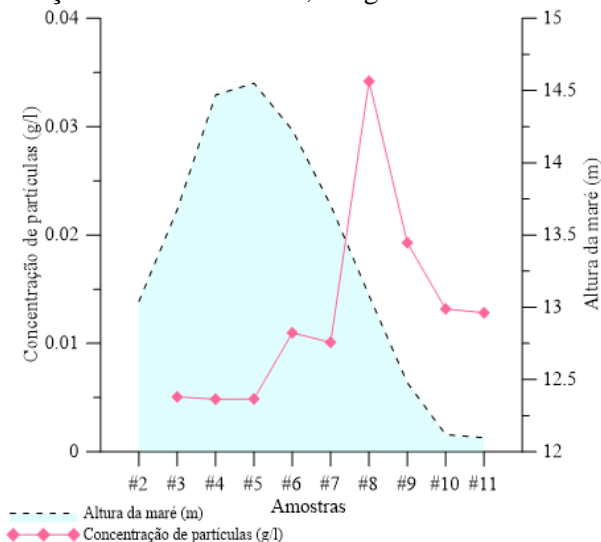
Na Figura 4.13 está representada a variação da concentração de partículas em suspensão a meio da coluna de água e junto ao fundo obtida pelo LISST. A meio da coluna de água a concentração de partículas em suspensão variou entre 0,03 g/l e 0,52 g/l e, junto ao fundo entre 0,03 g/l e 1,20 g/l. É necessário referir que a estação #8 atingiu valores de concentração superiores ao limite de deteção do aparelho. Na fase de enchente (#2, #3 e #4) a concentração de partículas varia entre 0,04 g/l e 0,10 g/l a meio da coluna de água e entre 0,05 g/l e 0,46 g/l junto ao fundo. No estófo da maré, nas estações #5 e #6, a concentração de partículas manteve-se praticamente constante a meio da coluna de água e junto ao fundo. Houve um aumento da concentração de partículas em suspensão durante a fase de vazante com valores a meio da coluna de água a variar entre 0,11 g/l e 0,52 g/l e, junto ao fundo entre 0,16 g/l e 1,20 g/l.



**Figura 4.13.** Variação da concentração de partículas a meio da coluna de água (a uma profundidade entre 5,23 m e 6,91 m) e junto ao fundo (a uma profundidade entre 10,83 m e 13,08 m) obtido pelo LISST (linha cheio preta corresponde ao meio da coluna de água e a linha a tracejado cinza ao nível junto ao fundo).

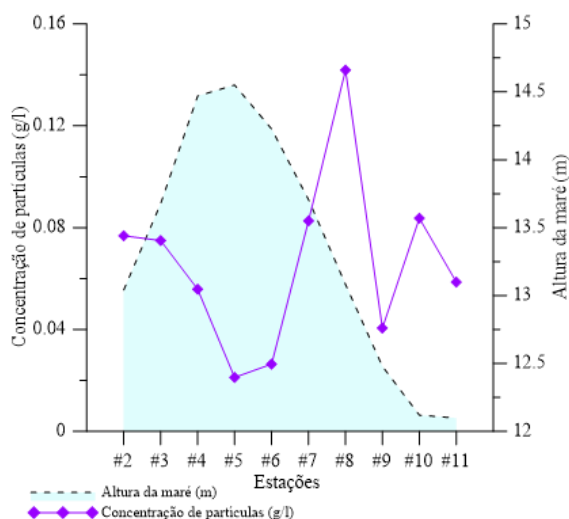


A concentração de partículas à superfície foi obtida pela análise dos filtros. A concentração de partículas em suspensão foi nula na estação #2 e nas estações #3, #4 e #5 manteve-se constante (0,005 g/l) conforme mostra a Figura 4.14. Na estação #6 a concentração aumentou para 0,011 g/l coincidindo com o início da fase de vazante. O valor máximo de concentração de partículas em suspensão, 0,034 g/l, foi atingido na estação #8. Este valor de concentração decresceu para 0,019 g/l na estação #9 e por fim manteve-se constante nas estações #10 e #11 com 0,013 g/l.



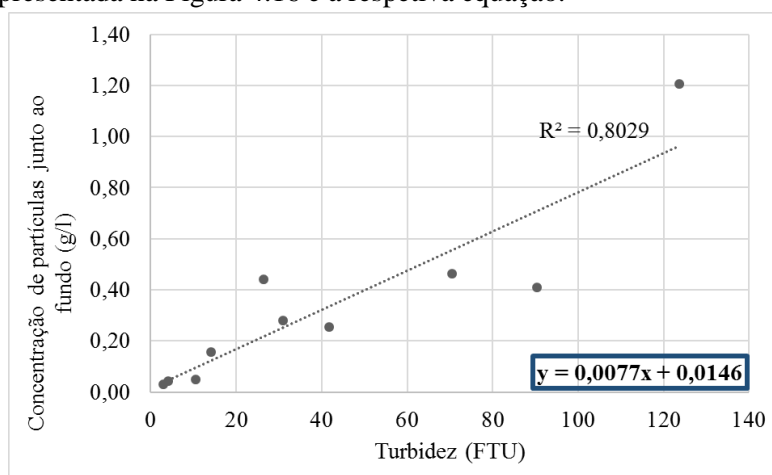
**Figura 4.14.** Variação da concentração de partículas à superfície resultante da análise dos filtros (concentração correspondente a 1 m da superfície) e variação da altura da maré (sombreado azul).

A Figura 4.15 mostra a concentração de partículas em suspensão obtida através do ADCP. Inicialmente a concentração de partículas foi 0,08 g/l na estação #2 diminuindo até atingir 0,02 g/l na estação #5. Durante o estófo da maré (#5 e #6) o valor de concentração manteve-se praticamente constante variando entre 0,02 g/l e 0,03 g/l. No início da fase de vazante houve um aumento da concentração de partículas (na estação #7 de 0,08 g/l) atingindo o máximo de concentração 0,14 g/l na estação #8 (Figura 4.13) A partir desta estação a concentração diminuiu nas estações #9, #10 e #11 para 0,04 g/l, 0,08 g/l e 0,06 g/l, respetivamente.

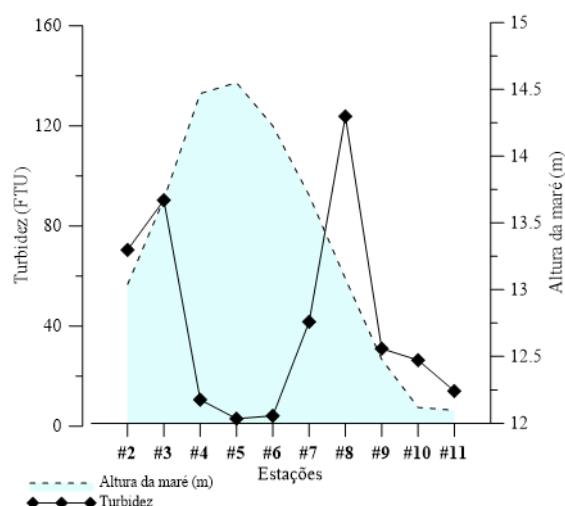


**Figura 4.15.** Variação da concentração de partículas na coluna de água (linha a cheio roxa), calculado através dos dados obtidos com o ADCP e a variação da altura da maré (sombreado azul).

A turbidez é um *proxy* da quantidade de partículas em suspensão obtido pelo RCM9 cuja correlação está representada na Figura 4.16 e a respetiva equação.



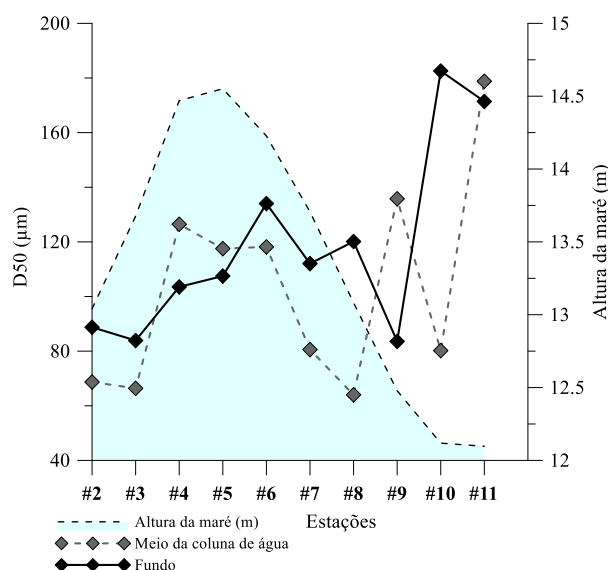
**Figura 4.16.** Correlação entre a concentração de partículas e a turbidez junto ao fundo, que mostra que a turbidez neste caso é um *proxy* da quantidade de partículas que se encontram em suspensão na coluna de água e a respetiva equação que os correlaciona assinalada a azul.



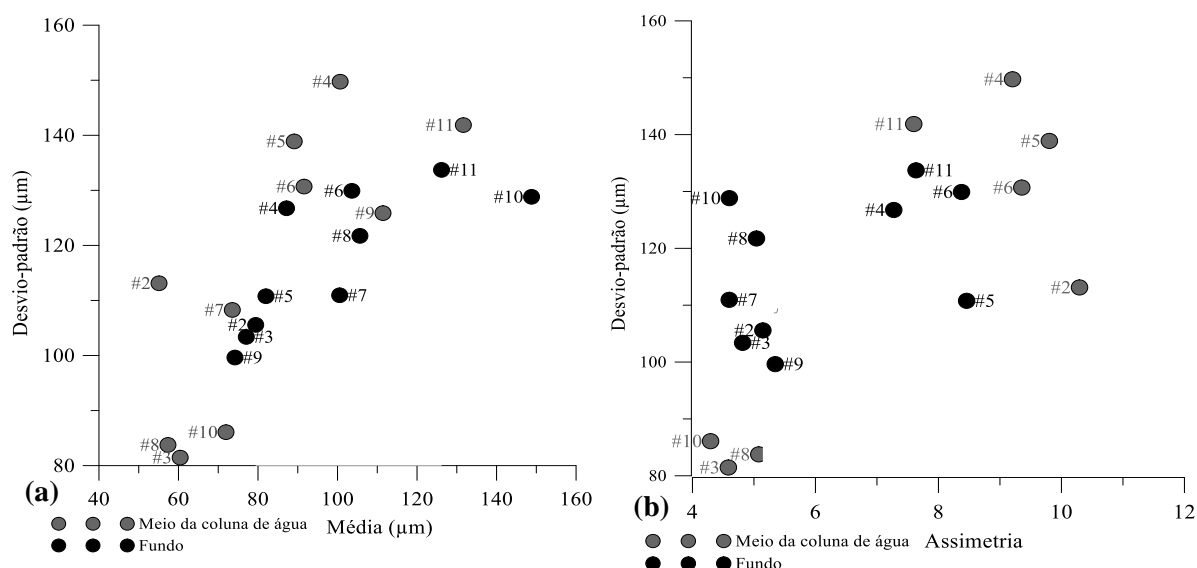
**Figura 4.17.** Variação da turbidez (linha a cheio preta) durante o ciclo de maré (a sombreado está marcada a variação da altura da maré) obtida pelo RCM9.

Na Figura 4.17 observa-se que na fase de enchente os valores de turbidez se encontravam elevados nas estações #2 e #3, com valores de 70 FTU e 90 FTU, reduzindo para 11 FTU na estação #4. Durante o estófo da maré a turbidez diminuiu para valores de 3 FTU e 4 FTU nas estações #5 e #6. No início da fase de vazante os valores de turbidez aumentaram para 42 FTU (estação #7) atingindo o valor máximo de 124 FTU na estação #8. A partir desta estação os valores de turbidez diminuíram para valores entre 26 FTU e 31 FTU, atingindo 14 FTU na estação #11.

A variação da dimensão média das partículas, D50, obtida através do LISST a meio da coluna de água e junto ao fundo está representada na Figura 4.18. A meio da coluna de água o D50 variou entre 64  $\mu\text{m}$  e 179  $\mu\text{m}$  enquanto, junto ao fundo variou entre 84  $\mu\text{m}$  e 183  $\mu\text{m}$ . Tanto a meio da coluna de água como junto ao fundo, nas estações #2 e #3 (fase de enchente), as partículas eram mais finas. Junto ao fundo prevaleceram as partículas com dimensão acima de 100  $\mu\text{m}$ , atingindo a dimensão máxima na estação #10 (150  $\mu\text{m}$ ). A meio da coluna de água as partículas eram mais finas (entre 63  $\mu\text{m}$  e 118  $\mu\text{m}$  nas estações iniciais) tendo existido um aumento de partículas mais grosseiras nas estações #9 e #11 (136  $\mu\text{m}$  e 179  $\mu\text{m}$ ) coincidindo com o pico de vazante.



**Figura 4.18.** Variação do D50 (diâmetro médio das partículas) durante o ciclo de maré a meio da coluna de água (linha a tracejado cinza) e junto ao fundo (linha a cheio preta), e a respetiva variação da altura da maré (a sombreado).



**Figura 4.19.** Média vs. Desvio-padrão das partículas em suspensão junto ao fundo (círculos a preto) e a meio da coluna de água (círculos a cinzento) durante o do ciclo de maré (a); Assimetria vs. Desvio-padrão das partículas em suspensão junto ao fundo (círculos a preto) e a meio da coluna de água (círculos a cinzento) ao longo do ciclo de maré (b) obtidos através do LISST.

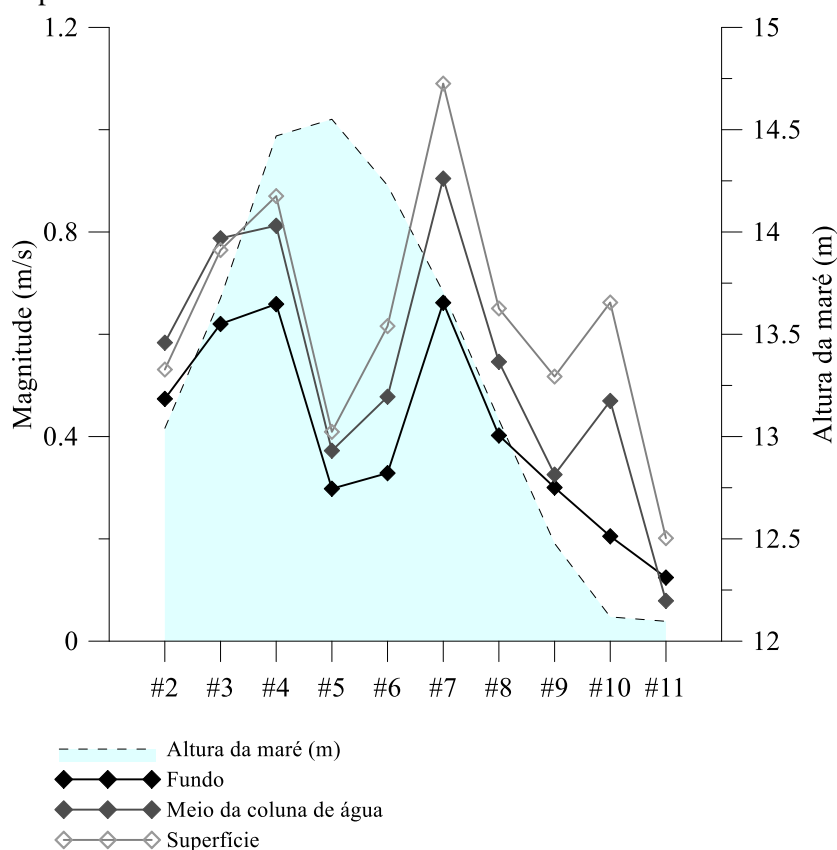
A Figura 4.19a mostra que a média das partículas em suspensão a meio da coluna de água e junto ao fundo é variável. No caso das partículas em suspensão a meio da coluna de água o desvio - padrão variou entre 80  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$  enquanto a média variou entre 50  $\mu\text{m}$  e 130  $\mu\text{m}$ . Junto ao fundo o desvio-padrão variou entre 100  $\mu\text{m}$  e 140  $\mu\text{m}$  e a média entre 70  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ . Assim, junto ao fundo encontraram-se as partículas com médias superiores cujos valores dependiam do desvio-padrão. Por outro lado, a meio da coluna de água observou-se partículas ligeiramente mais finas cujos valores da média dependiam do desvio-padrão (quanto maior a dimensão das partículas maior é o valor do desvio-padrão).

A assimetria e o desvio-padrão representados na Figura 4.19b mostram que tanto a meio da coluna de água como junto ao fundo não existia relação entre si. As partículas em suspensão a meio da coluna de água aparentaram ser mais assimétricas ao longo do ciclo de maré. Porém, junto ao fundo não se observou uma assimetria tão forte das partículas em suspensão durante o ciclo de maré.

### 4.1.2.3. Correntes

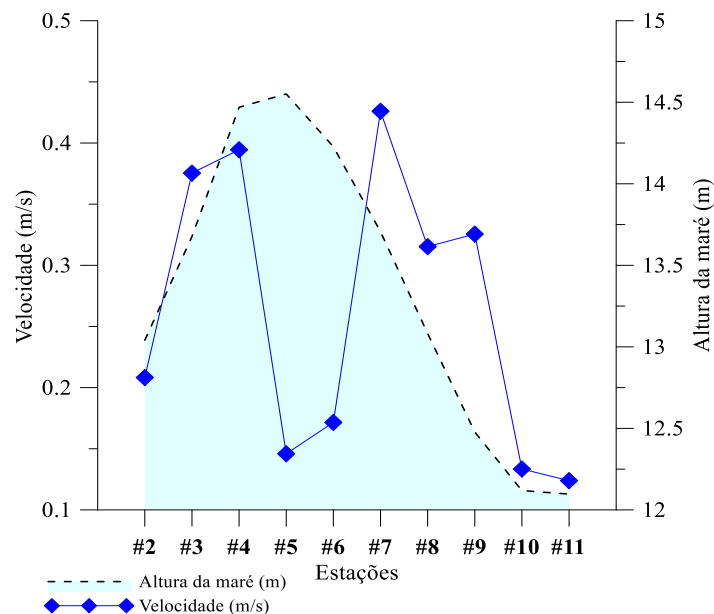
A variação da magnitude da corrente durante o ciclo de maré obtida pelo ADCP à superfície, a meio da coluna de água e junto ao fundo está representada na Figura 4.20. A magnitude da corrente junto ao fundo variou entre 0,12 m/s e 0,66 m/s, a meio da coluna de água entre 0,08 m/s e 0,90 m/s e, por fim à superfície entre 0,20 m/s e 1,09 m/s. Existiu uma desaceleração da magnitude da corrente da superfície para o fundo.

Em ambos os níveis (à superfície, a meio da coluna de água e junto ao fundo) durante o estófo da maré (estações #5 e #6) observou-se que a magnitude da corrente se manteve constante: (i) à superfície entre 0,41 m/s e 0,62 m/s; (ii) a meio da coluna de água entre 0,37 m/s e 0,48 m/s; (iii) junto ao fundo entre 0,30 m/s e 0,33 m/s. À superfície após o estófo da maré houve um aumento brusco da magnitude de 0,62 m/s para 1,09 m/s que marcou o início da fase de vazante deste ciclo de maré. A meio da coluna de água esta mudança também foi detetada com uma variação de 0,48 m/s para 0,90 m/s e junto ao fundo com uma variação de 0,33 m/s para 0,66 m/s. Por fim, na estação #11 à superfície, a meio da coluna de água e junto ao fundo os valores da magnitude da corrente diminuíram para 0,2 m/s, 0,08 m/s e 0,12 m/s, respetivamente.



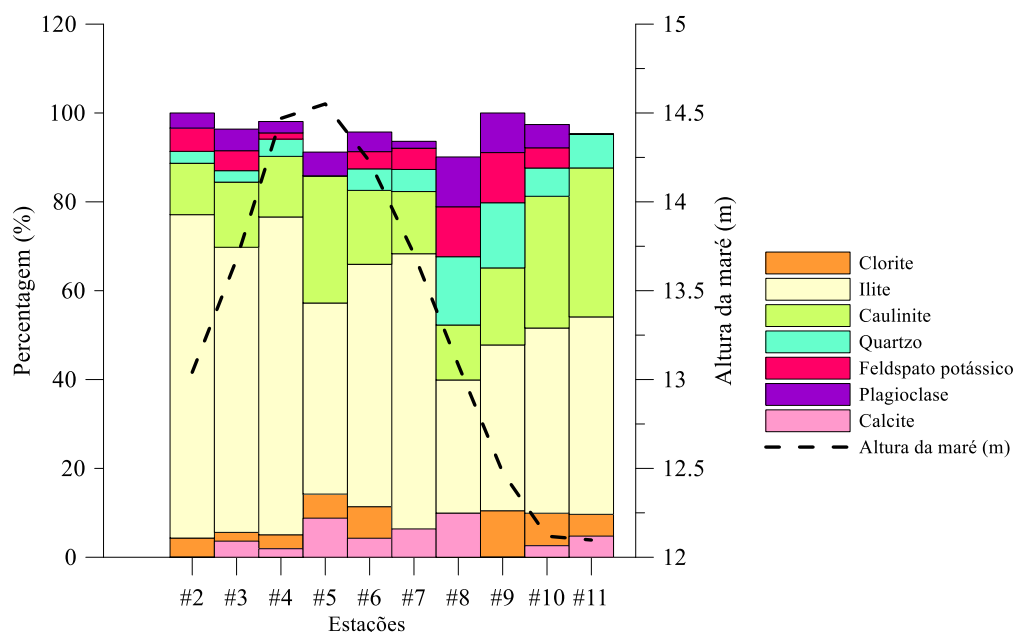
**Figura 4.20.** Variação da magnitude da corrente (m/s) junto ao fundo (linha a cheio preta), a meio da coluna de água (linha a cheio cinza escuro) e à superfície (linha a cheio cinza claro), durante o ciclo de maré (sombreado azul).

A Figura 4.21 mostra a variação de velocidade da corrente (m/s) junto ao fundo obtida pelo RCM9. Durante a fase de enchente os valores de velocidade aumentaram atingindo 0,39 m/s na estação #4 a partir da qual houve uma redução brusca da velocidade. Esta redução marcou o estófo da maré onde os valores de velocidade permaneceram mais baixos, nomeadamente, 0,15 m/s e 0,17 m/s nas estações #5 e #6. O início da fase de vazante coincidiu com o valor máximo detetado da velocidade da corrente na estação #7 de 0,43 m/s. Nas restantes estações a velocidade diminuiu até atingir 0,12 m/s na estação #11.



**Figura 4.21.** Variação da velocidade da corrente junto ao fundo(m/s) durante o ciclo de maré, resultante da média dos dados obtidos com o RCM9.

#### 4.1.2.4. Composição das partículas em suspensão



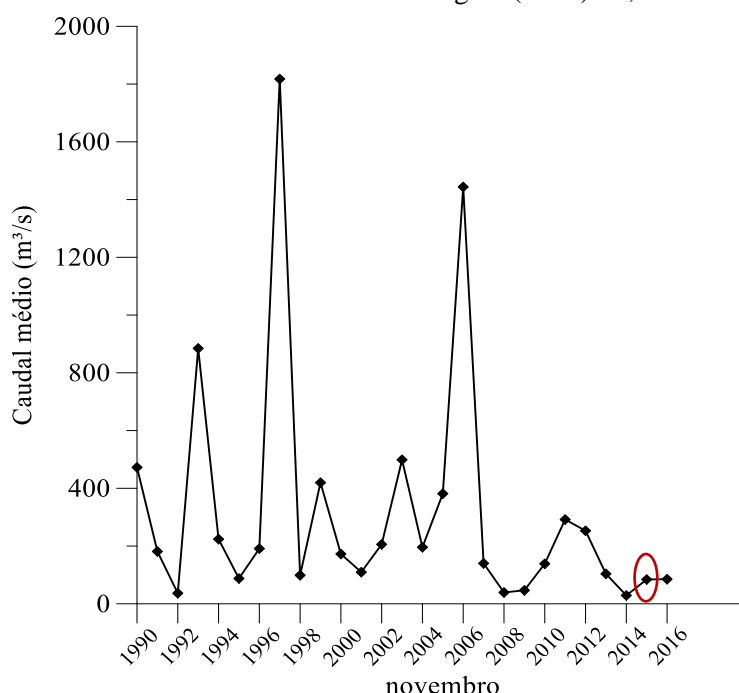
**Figura 4.22.** Variação da mineralogia das partículas em suspensão (representada pelas barras de diferentes cores) com a variação da altura de maré (tracejado a preto).

As partículas detríticas que se encontravam em suspensão na coluna de água eram constituídas maioritariamente por ilite (30% - 70%) conforme mostra a Figura 4.22. As percentagens de ilite eram mais elevadas nas estações de enchente (#2, #3 e #4) com valores acima dos 60%. Durante a fase de vazante, estações #9, #10 e #11, a percentagem de ilite decresceu para valores inferiores a 50%. A caulinite era o segundo mineral mais abundante variando entre 12% e 34%. Os valores mais elevados de caulinite foram observados nas estações #5, #9 e #10 (29%, 30% e 34%, respetivamente). A percentagem de quartzo não ultrapassou 15%, sendo mais elevada na fase de vazante nas estações #8 e #9. A clorite é o quinto mineral mais abundante que variou entre 4% e 14% tendo atingido valores mais elevados durante o estófo da maré, nas estações #5 (14%) e #6 (11%). A percentagem de feldspato

potássico e de plagioclase atingiu 11% nas estações #8 e #9 (fase de vazante). Por fim, a calcite não excedeu 10%, tendo valores mais elevados nas estações #5 e #8, com 9% e 10%, respetivamente.

#### 4.1.2.5 Caudal médio do rio e amplitude da maré

Os valores do caudal médio ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) foram calculados tendo em conta os dados do boletim de escoamento médio diário em Almourol (<http://snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.2>). Foram apenas analisados os meses de novembro de cada ano visto ser o mês em que se realizou a amostragem, desde 1990 até 2016. Para tal realizou-se médias dos valores diários obtendo-se a tabela com os valores do mês de novembro ao longo dos anos representada no anexo D. O valor máximo de caudal durante o mês de novembro foi atingido no ano de 1997 ( $1817,58 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e o valor mínimo em 2014 ( $28,94 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Na Figura 4.23 estão representados o valor do caudal médio ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) durante o mês de novembro desde 1990 até 2016, sendo o valor do caudal no ano de amostragem (2015)  $84,19 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 4.23.** Variação do caudal médio durante os meses de novembro (linha a cheio preta), entre 1990 e 2016 e o círculo vermelho assinala o ano da amostragem.

De acordo com a tabela de marés do Instituto Hidrográfico (Anexo E) observou-se que no dia da amostragem a amplitude da maré variou entre 0,85 m e 3,26 m no porto de Cascais e em Lisboa entre 0,88 m e 3,69 m. É necessário referir que o período de amostragem se encontrava na transição do período de marés mortas para marés vivas.

#### 4.1.3. Nanoplâncton calcário vs. Parâmetros físicos da coluna de água

Com o intuito de entender se existia correlação entre os diversos parâmetros físicos analisados pelos aparelhos referidos e observar a possível correlação dos mesmos com a componente do nanoplâncton calcário realizou-se também gráficos de correlação (Anexo F). De acordo com o anexo F, constatou-se que as correlações tinham valores baixos e, portanto, não foram tidos em conta neste estudo. A correlação mais elevada que se verificou foi entre o parâmetro turbidez e concentração de partículas em suspensão que permitiu realizar uma equação representativa dessa mesma correlação (secção 4.1.2.2.).

## 4.2. Sedimentos de fundo

### 4.2.1. Análise de nanoplâncton calcário nos sedimentos de fundo

A análise das lâminas permitiu identificar a existência de cocólitos de espécies atuais e de espécies fósseis, certamente remobilizadas das unidades miocénicas e cretácicas que afloram na parte distal da Bacia do Tejo. Foram igualmente observados fragmentos de cocosferas e pelóides fecais porém a sua ocorrência é muito rara e, portanto, não são representativos no contexto das lâminas observadas.

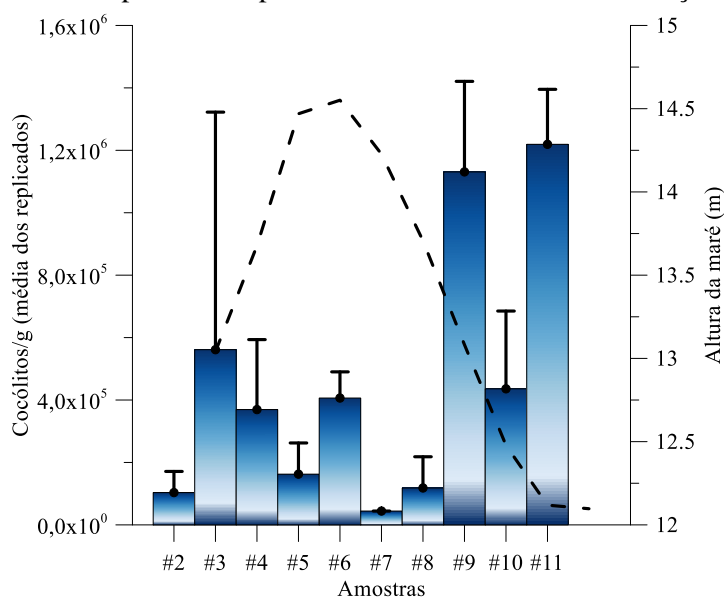
As espécies atuais identificadas nas amostras foram: *Braarudosphaera bigelowii*, *Calcidiscus leptoporus*, *Coccolithus pelagicus*, *Coronosphaera mediterranea*, *Emiliana huxleyi*, *Gephyrocapsa ericsonii*, *Gephyrocapsa muelleri*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Helicosphaera carteri*, *Umbilicosphaera sibogae* e *Pontosphaera* sp.

As espécies fósseis/remobilizadas identificadas foram: *Ciclicargolithus floridanus*, *Helicosphaera ampliaperta*, *Helicosphaera walbersdorfensis*, *Lexolithus* sp., *monoonus*, *Reticulofenestra antarcticus*, *Reticulofenestra haqii-minutula*, *Reticulofenestra minuta*, *Reticulofenestra productus*, *Reticulofenestra pseudumbilicus*, *Watznaueria quadriradiata*, *Watznaueria biporta*, *Watznaueria fossacincta*, *Watznaueria ovata* e *Watznaueria barnesiae*.

Acresce-se que em certos exemplares não foi possível a identificação das espécies devido ao elevado grau de recristalização e dissolução tendo sido considerados taxonomicamente como indeterminadas. É necessário referir que as espécies classificadas como indeterminadas tanto podem ser remobilizadas ou atuais pelo que foram contabilizadas à parte durante esta análise.

#### 4.2.1.1 Cocólitos no sector mais superficial (nível 0-2 cm)

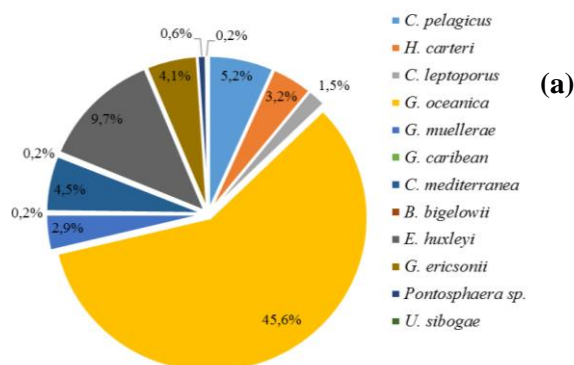
Na Figura 4.24 está representada a variação da abundância de cocólitos nas várias amostras no nível 0-2 cm. Observou-se a inexistência de um padrão definido e constante. Uma primeira análise das médias da abundância de cocólitos/g dos replicados de cada amostra permitiu constatar que nas primeiras amostras (da #2 à #8) a abundância era menor do que nas amostras #9, #10 e #11. No entanto, os elevados valores de desvio-padrão não permitiram considerar essas diferenças significativas.



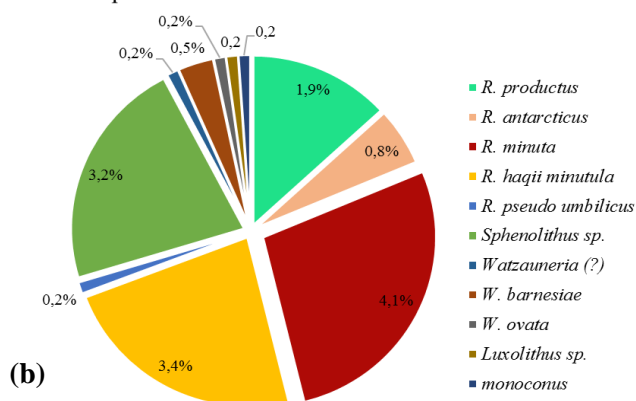
**Figura 4.24.** Abundância de cocólitos/g (média dos três replicados de cada amostra) nas amostras, englobando todas as espécies atuais, remobilizadas e indeterminadas do nível 0-2 cm e as respectivas barras de desvio-padrão (linha a cheio preta) para cada uma das amostras (a altura da maré está a tracejado preto).

Nas amostras #2, #5, #7, #8 a abundância de cocólitos/g é menor nomeadamente,  $1,0 \times 10^5$ ,  $1,6 \times 10^5$ ,  $4,4 \times 10^4$ ,  $1,2 \times 10^5$  cocólitos/g (Figura 4.24). Nas estações #3 ( $5,6 \times 10^5$ ), #4 ( $3,7 \times 10^5$ ), #6 ( $4,1 \times 10^5$ ) e #10 ( $4,4 \times 10^5$ ) houve um aumento da abundância de cocólitos/g nos sedimentos relativamente às amostras acima referidas. O máximo de cocólitos/g é observado nas amostras #9 e #11,  $1 \times 10^6$  cocólitos/g e  $1,2 \times 10^6$  cocólitos/g, respetivamente.

78% Espécies atuais



15 % espécies remobilizadas



**Figura 4.25.** Percentagem relativamente às espécies atuais que foram identificadas nos replicados de todas as amostras do nível 0-2 cm (a); Percentagem relativamente às espécies remobilizadas, Miocénico e Cenozóico, que foram identificadas nos replicados de todas as amostras do nível 0-2 cm (b).

A Figura 4.25a mostra que 78% dos cocólitos observados nos sedimentos das amostras foram de espécies atuais. A espécie atual mais abundante nos sedimentos era a *G. oceanica* (45,6%). As restantes espécies apresentaram concentrações abaixo dos 10%, tais como, a *E. huxleyi* (9,7%) e *G. ericsonii* (4,1%).

As espécies consideradas remobilizadas (fósseis) de acordo com a Figura 4.25b representam 15% do total. As quatro espécies mais abundantes eram *R. minuta* (4,1%), *R. haqii minutula* (3,4%), *R. productus* (2%) e *Sphenolithus sp.* (3,2%). É necessário referir que no caso dos *Sphenolithus sp.* existiu algumas dificuldades na identificação devido à metodologia utilizada que levou à precipitação de carbonatos nas lâminas. As restantes espécies foram consideradas vestigiais pois estavam em percentagens inferiores a 2%, tais como *W. barnesiae* (0,5%) e *R. antarcticus* (0,8%).

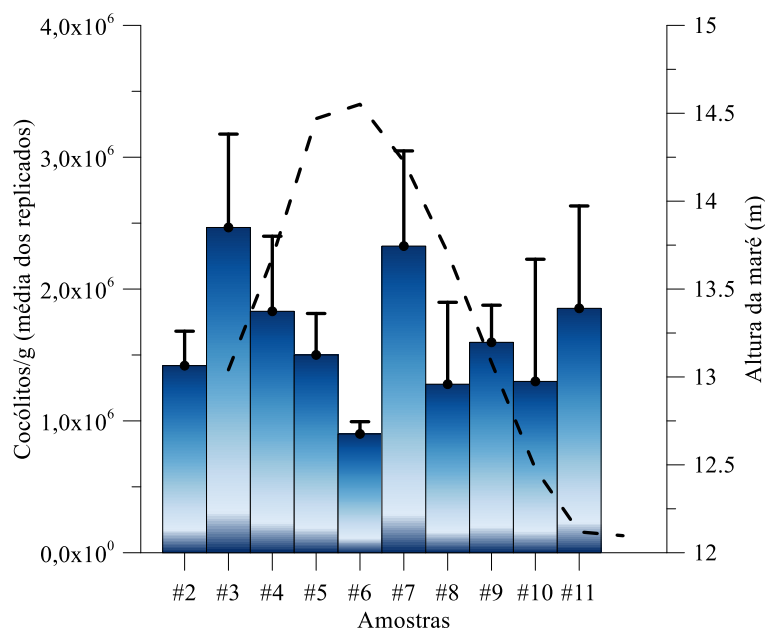
As espécies que não foram identificadas correspondem a 6,8% do total de espécies observadas e, portanto, não estavam representadas em nenhuma das figuras acima referidas.

De forma a analisar a distribuição de cocólitos das espécies presentes nos sedimentos elaboraram-se gráficos box-plot (Anexo H) para as espécies mais abundantes. Os gráficos apenas foram realizados pois existem 3 triplicados para cada amostra permitindo uma análise da variabilidade de cocólitos nos sedimentos.



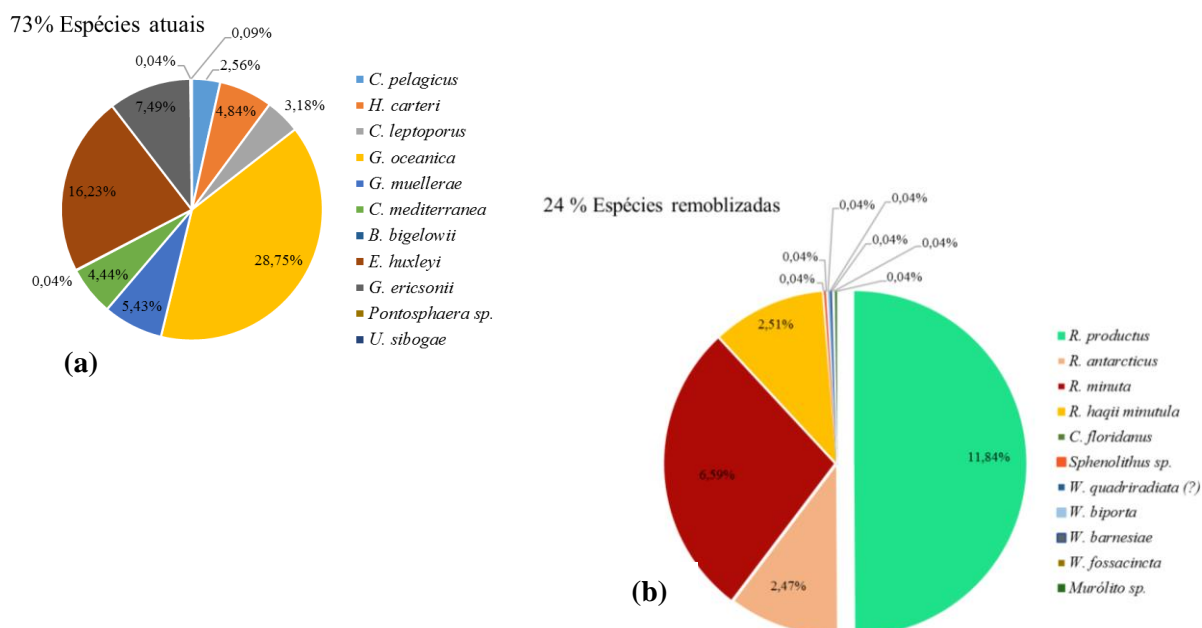
#### 4.2.1.2 Cocólitos no sector de sub-superfície (nível 2-4 cm)

Na Figura 4.26 está representada a concentração de cocólitos/g nas amostras (média dos valores dos replicados) cujos valores oscilam entre  $9,0 \times 10^5$  cocólitos/g e  $2,5 \times 10^6$  cocólitos/g.



**Figura 4.26.** Abundância de cocólitos/g (média dos três replicados de cada amostra) nas amostras, englobando todas as espécies atuais, remobilizadas e indeterminados do nível 2-4 cm e as respectivas barras de desvio-padrão (linha a cheio preta) para cada uma das amostras (a altura da maré está representada a tracejado preto).

As amostras #2, #5, #6, #8, #10 tinham valores mais baixos de cocólitos/g quando comparadas com as restantes nomeadamente,  $1,4 \times 10^6$  cocólitos/g,  $1,5 \times 10^6$  cocólitos/g,  $9,0 \times 10^5$  cocólitos/g,  $1,3 \times 10^6$  cocólitos/g,  $1,3 \times 10^6$  cocólitos/g. Por sua vez as amostras #3 e #7 tinham valores mais elevados de cocólitos/g,  $2,5 \times 10^6$  cocólitos/g e  $2,3 \times 10^6$  cocólitos/g, respetivamente.



**Figura 4.27.** Percentagem relativamente às espécies atuais que foram identificadas nos replicados das amostras do nível 2-4cm (a); Percentagem relativamente às espécies remobilizadas, Miocénico e Cenozóico, que foram identificadas nos replicados das amostras do nível 2-4 cm (b).

No nível 2-4 cm 73% dos cocólitos existentes eram de espécies atuais e 24% de espécies fósseis/remobilizadas. De acordo com a Figura 4.27a a espécie atual dominante nos sedimentos foi a *G. oceanica* (28,75%), seguida pela *E. huxleyi* (16,23%). As restantes espécies encontravam-se em percentagens abaixo dos 10%, nomeadamente, *G. ericsonii* (7,49%), *H. carteri* (4,84%), *C. pelagicus* (2,56%), *C. mediterranea* (4,44%), *G. muelleriae* (5,43%) e *C. leptoporus* (3,18%).

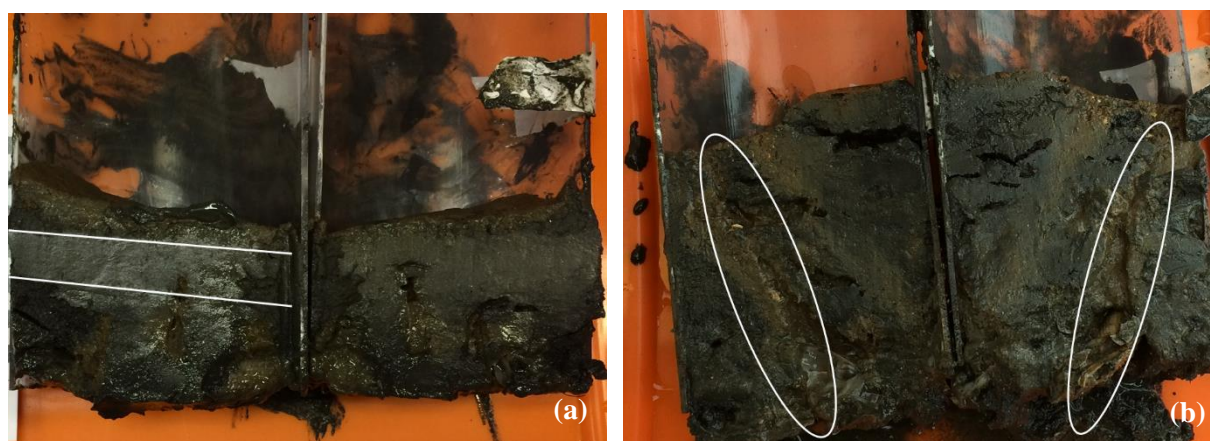
A Figura 4.27b mostra as espécies fósseis/remobilizadas mais abundantes eram *R. productus* (11,84%), *R. minuta* (6,59%), *R. antarcticus* (2,47%) e *R. haqii minutula* (2,51%). As restantes espécies *W. fossacineta*, *W. biporta*, *W. barnesiae*, *W. quadriradiata*, *C. floridanus* apresentavam percentagens vestigiais (0,04%).

As espécies não identificadas/indeterminadas (devido à elevada recristalização dos cocólitos) correspondiam a 3,18% do total no nível 2-4 cm.

Tal como no nível anterior também neste nível se realizaram gráficos box-plot (ver anexo I) para as espécies mais abundantes quer para as espécies fósseis quer para as atuais.

## 4.2.2. Análise Sedimentológica

A bordo do navio NRP Andrómeda os mini-*corers* colhidos foram abertos ao meio e fotografados, tendo verificado a existência de bioturbação (Figura 4.28b) e estratificação (Figura 4.28a) em diversas amostras, conforme as fotografias de todas as amostras no anexo K.



**Figura 4.28.** Mini-corer com evidências de estratificação, representada pela linha a cheio branca (a); Mini-corer evidências de bioturbação, representado a branco pela forma oval (b).

### 4.2.2.1. Resultados do nível 0-2 cm

#### a) Análise granulométrica (Parâmetros de Folk & Ward, Sorting Index, classificação de Flemming)

**Tabela 4.1.** Parâmetros dos sedimentos de fundo, nível 0-2 cm, obtidos através da análise granulométrica com o Malvern 2000: desvio-padrão, moda, média, assimetria, Q1, Q2 e Q3.

Amostra nº	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
Desvio-padrão ( $\sigma$ )	2,97	2,43	2,49	2,54	2,28	2,49	2,63	3,02	2,5	2,73
Moda (mm)	2,75	6,75	2,75	2,75	6,75	6,75	2,75	2,75	6,75	2,75
Média (mm)	4,25	6,22	4,37	4,73	6,3	6,03	5,41	4,47	5,86	5,05
Assimetria	-0,13	-0,52	0,61	0,4	-0,28	-0,36	-0,09	-0,1	-0,27	0,05
Percentil_10 (Q1)	1,6	2,64	1,92	2,12	3,04	2,7	2,2	1,43	2,59	1,97
Percentil_50 (Q2)	3,6	6,54	3,49	3,96	6,49	6,26	5,53	4	6,06	4,88
Percentil_90 (Q3)	8,31	9,09	8,17	8,46	9,13	9,11	8,82	8,5	8,99	8,72

Na Tabela 4.1 encontram-se os valores resultantes da análise dos sedimentos do nível 0-2 cm obtidos através do Malvern 2000. Os valores de desvio-padrão oscilam entre 2,28 e 3,02, a moda entre 2,75 mm e 6,75 mm, a média entre 4,25 mm e 6,3 mm e por fim a assimetria entre os -0,52 e 0,61.

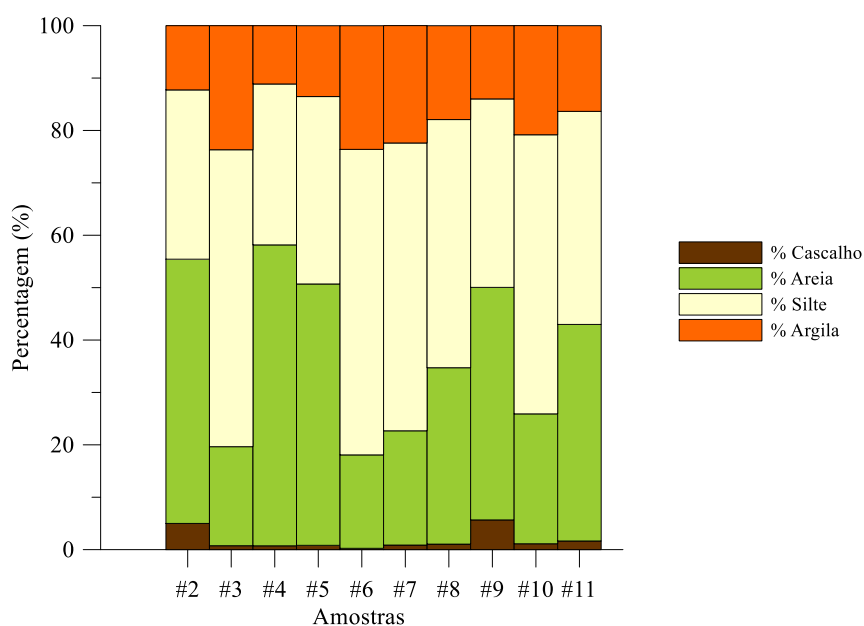
Os sedimentos de todas as amostras colhidas neste nível eram fracamente calibrados/selecionados, visto que, os valores de desvio-padrão variaram entre 2,00 e 4,00 (Folk & Ward, 1957).

De acordo com o *sorting index* (Trask, 1932) as amostras #2, #4, #9 e #11 foram classificadas quanto à calibração como areias mal calibradas/selecionadas (valores de  $S_0 > 4$ ) enquanto as restantes amostras (#3, 5, #6, #7, #8, #10) foram classificadas como areia pouco calibrada/selecionada (valores entre  $2,5 < S_0 < 4$ ).

**Tabela 4.2.** Valores de assimetria das amostras do nível 0-2 cm e respetiva classificação com base nos parâmetros de Folk & Ward (1957).

Amostra nº	Assimetria	Classificação
#2	-0,13	Negativa
#3	-0,52	Muito negativa
#4	0,61	Muito positiva
#5	0,4	Muito positiva
#6	-0,28	Negativa
#7	-0,36	Muito negativa
#8	-0,09	Aproximadamente simétrica
#9	-0,1	Negativa a aproximadamente simétrica
#10	-0,27	Negativa
#11	0,05	Aproximadamente simétrica

As amostras #2, #3, #6, #7 e #10 apresentavam uma predominância de partículas mais finas assinalada pela sua assimetria negativa e muito negativa (Tabela 4.2). Por outro lado, as amostras #4 e #5 mostravam uma predominância de grãos mais grosseiros devido à sua assimetria muito positiva. As restantes amostras (#8, #9 e #11) eram aproximadamente simétricas havendo um equilíbrio quanto à existência de partículas mais finas e grosseiras.

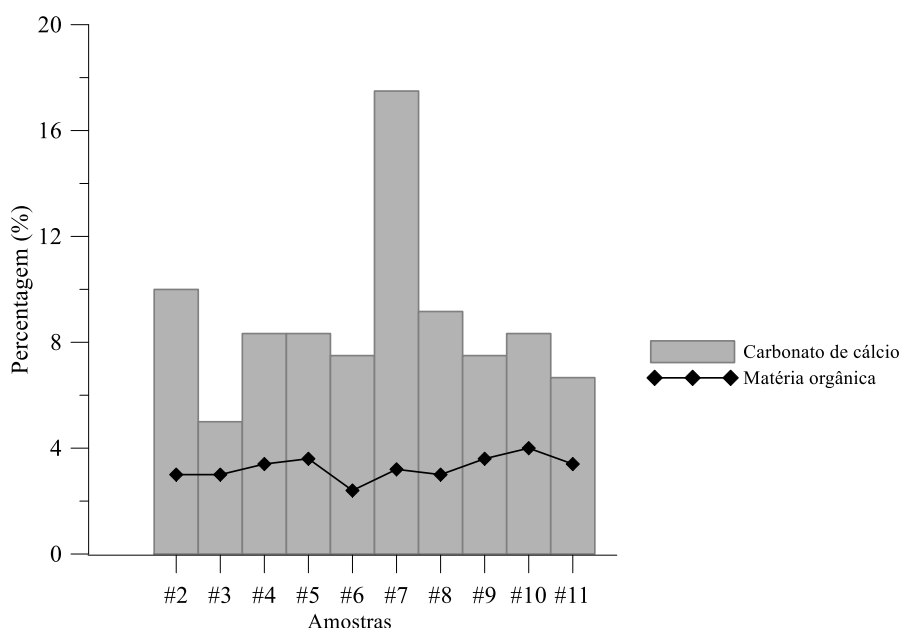


**Figura 4.29.** Percentagem de areia (barra verde), silte (barra bege), argila (barra laranja) e cascalho (barra castanha) que compõe as amostras colhidas do nível 0-2 cm.

A Figura 4.29 mostra que as amostras eram compostas por cascalho, areia, silte e argila. O cascalho presente nas amostras representava uma pequena percentagem do total, entre 0,25% e 5,67%. Por sua vez a argila varia entre 11,13% e 23,68%. Os constituintes maioritários nas amostras eram silte e areia cuja percentagem variou entre 30,71%-58,31% e 17,83%-57,43%, respetivamente. De acordo com Flemming (2000) as amostras foram classificadas como #2 areia siltosa, #3 silte argiloso, #4 areia siltosa, #5 areia siltosa, #6 silte argiloso, #7 areia, silte e argila, #8 silte arenoso, #9 areia siltosa, #10 areia, silte, argila e a #11 areia siltosa.

#### b) Teor de carbonato de cálcio vs. Matéria orgânica

A Figura 4.30 mostra que a percentagem de matéria orgânica oscila pouco quando comparada com a percentagem de carbonato de cálcio.

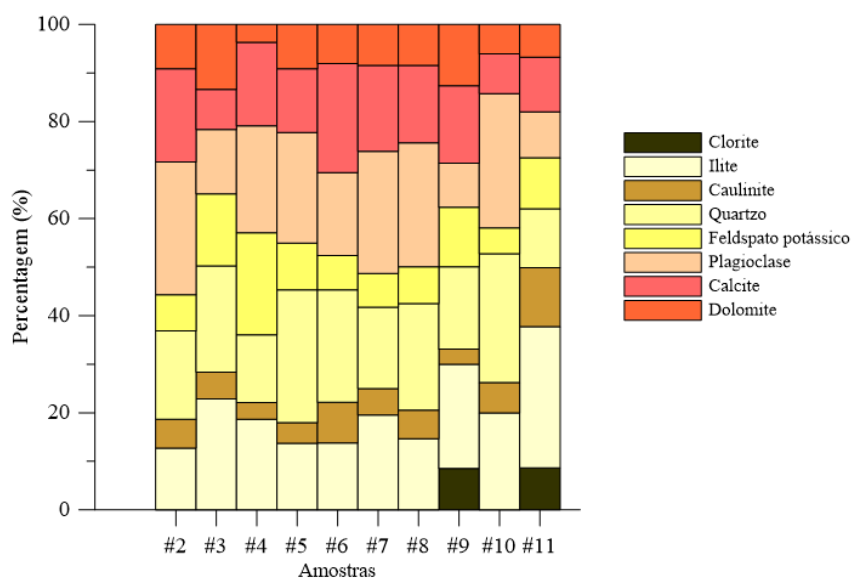


**Figura 4.30.** Variação da percentagem de matéria orgânica (linha a cheio preta) e do teor em carbonato de cálcio (barra cinzenta) do nível 0-2 cm, calculado a partir dos valores de TIC e TOC.

A percentagem de matéria orgânica variou entre 2,4% e 3,6% enquanto o carbonato de cálcio variou entre 5% e 17,7%. O valor máximo de carbonato de cálcio foi detetado na estação #7.

#### c) Mineralogia das partículas detríticas

As partículas detríticas do nível 0-2 cm eram compostas por: clorite, ilite, caulinite, quartzo, feldspato potássico, plagioclase, calcite e dolomite (Figura 4.31).



**Figura 4.31.** Composição mineralógica das partículas detríticas que constituem as amostras do nível 0-2cm: clorite, ilite, caulinite, quartzo, feldspato potássico, plagioclase, calcite, dolomite.

**Tabela 4.3.** Mineralogia das partículas detríticas do nível 0-2 cm, obtidos através da difração raios-X (a); Percentagem de filossilicatos, silicatos e carbonatos em cada amostra do nível 0-2 cm (b).

(a)	Clorite (%)	Ilite (%)	Caulinite (%)	Quartzo (%)	Feldspato Potássico (%)	Plagioclase (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)
#2	0	13	6	18	7	27	19	9
#3	0	23	6	22	15	13	8	13
#4	0	19	3	14	21	22	17	4
#5	0	14	4	27	10	23	13	9
#6	0	14	8	23	7	17	23	8
#7	0	20	5	17	7	25	18	8
#8	0	15	6	22	8	25	16	8
#9	9	21	3	17	12	9	16	13
#10	0	20	6	27	5	28	8	6
#11	9	29	12	12	10	9	11	7

(b)

Amostras	Filossilicatos (%)	Silicatos (%)	Carbonatos (%)
#2	19	53	28
#3	28	50	22
#4	22	57	21
#5	18	60	22
#6	22	47	31
#7	25	49	26
#8	21	55	24
#9	33	38	29
#10	26	60	14
#11	50	32	18

De acordo com a Tabela 4.3a os minerais abundantes nas amostras eram ilite (13-29%), quartzo (12-27%), plagioclase (9-28%) e calcite (8-23%). Por sua vez a clorite era o mineral menos abundante em todas as amostras tendo sido detetada apenas nas amostras #9 e #11. Todas as amostras, exceto a amostra #11, eram constituídas maioritariamente por silicatos entre 32% e 60% (Tabela 4.3b). Como referido, a amostra #11 distinguiu-se das restantes pois era constituída maioritariamente por filossilicatos, cerca de 50%.

#### 4.2.2.2 Resultados do nível 2-4 cm

##### a) Análise granulométrica (Parâmetros de Folk & Ward, Sorting Index, classificação de Flemming)

Os valores de desvio-padrão das amostras do nível 2-4 cm variaram entre 2,34 e 2,78, a moda entre 2,75mm e 3,75 mm, a média entre 4,53 mm e 5,99 mm e, por fim, a assimetria variou entre -0,36 e 0,72 (Tabela 4.4).

**Tabela 4.4.** Parâmetros dos sedimentos de fundo, do nível 2-4 cm, obtidos através da análise granulométrica com o Malvern 2000: desvio-padrão, moda, média, assimetria, Q1, Q2 e Q3.

Amostra nº	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11
Desvio-padrão ( $\sigma$ )	2,59	2,44	2,5	2,58	2,45	2,34	2,78	2,45	2,54	2,54
Moda (mm)	2,75	6,75	2,75	2,75	2,75	6,75	2,75	6,75	3,25	2,75
Média (mm)	4,62	5,99	4,53	4,85	5,21	5,95	5,12	5,96	5,45	5,24
Assimetria	0,5	-0,36	0,72	0,49	0,4	0,05	-0,08	-0,14	0,09	0,27
Percentil_10 (Q1)	1,95	2,53	2,03	2,08	2,33	2,88	2,01	2,65	2,35	2,27
Percentil_50 (Q2)	3,81	6,36	3,55	4,09	4,88	5,99	5,09	6,15	5,43	5
Percentil_90 (Q3)	8,43	8,92	8,37	8,65	8,67	9,03	8,77	9,09	8,86	8,78

De acordo com os valores estabelecidos por Folk & Ward (1957) os sedimentos em todas as amostras foram classificados como fracamente calibrados/selecionados (valores de desvio-padrão variaram 2.00 e 4.00).

O valor de *sorting index* proposto por Trask (1932) permitiu classificar as amostras #3, #6, #7, #9, #10 e #11 como uma areia pouco calibrada ou pouco selecionada (valores entre  $2,5 < S_0 < 4$ ) e as restantes (#2, #4, #5, #8) como areia mal calibrada ou mal selecionada ( $S_0 > 4$ ).

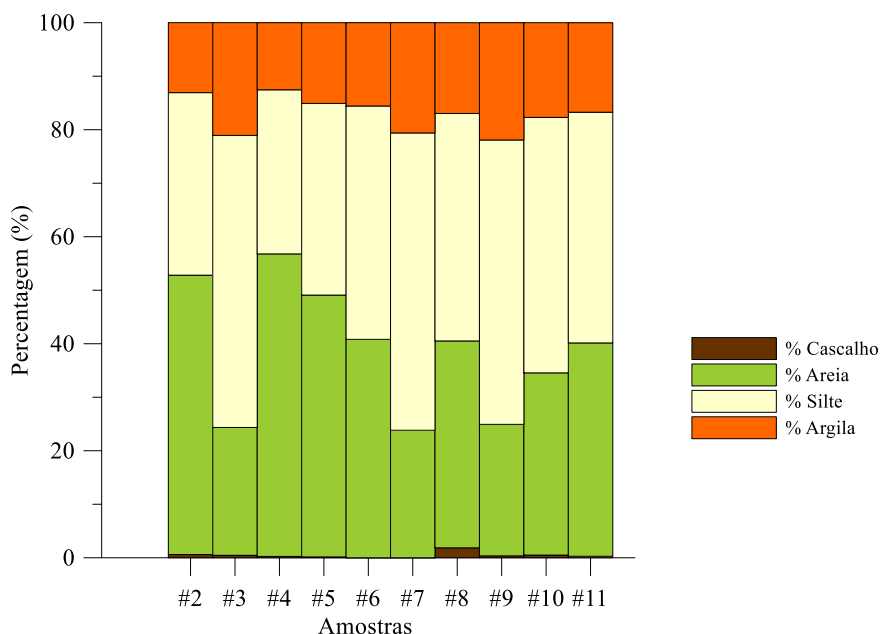
Na Tabela 4.5. observa-se que a maioria das amostras eram compostas maioritariamente por partículas finas (valores de assimetria positivos, entre 0,5 e 0,72). As amostras #2 e #11 tinham uma

assimetria positiva (curva deslocada para a direita) indicando a presença de material fino. Por outro lado, as amostras #4, #5 e #6 tinham uma predominância de partículas finas comparativamente às grosseiras (assimetria muito positiva). Nas amostras #7, #8 e #10 a quantidade de finos e grosseiros não predominava uma sobre a outra uma vez que a curva era aproximadamente simétrica. Por fim, as amostras #3 e #9 apresentaram uma predominância de partículas grosseiras assinalada pela assimetria muito negativa e negativa, contrariamente às restantes.

**Tabela 4.5.** Valores de assimetria das amostras do nível 2-4 cm e a sua classificação de acordo com os parâmetros de Folk & Ward (1957)

Amostra nº	Assimetria	Classificação
#2	0,5	Positiva
#3	-0,36	Muito negativa
#4	0,72	Muito positiva
#5	0,49	Muito positiva
#6	0,4	Muito positiva
#7	0,05	Aproximadamente simétrica
#8	-0,08	Aproximadamente simétrica
#9	-0,14	Negativa
#10	0,09	Aproximadamente simétrica
#11	0,27	Positiva

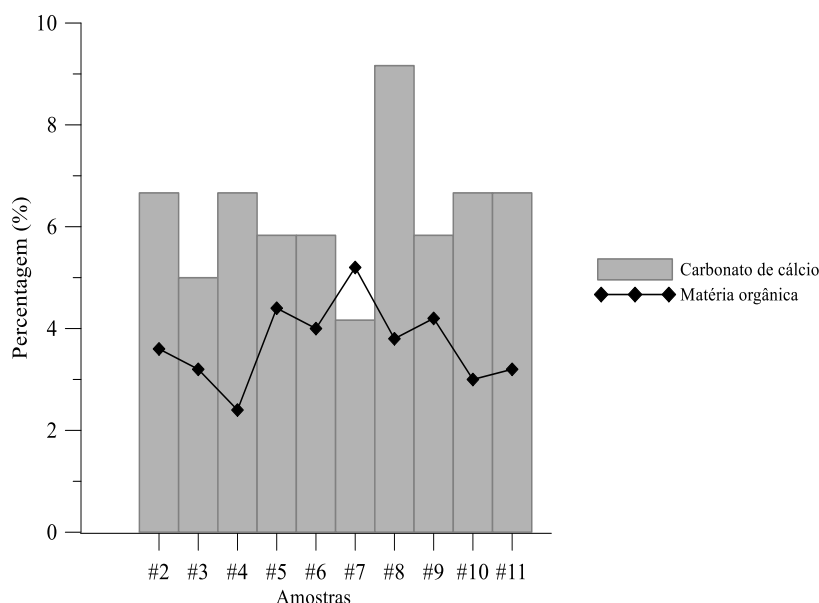
As amostras que constituem este nível eram compostas por cascalho, areia, silte e argila (Figura 4.32). O constituinte minoritário era o cascalho que variou entre 0% e 1,86% e, a argila que variou entre 12,54% e 21,92%. Por sua vez, os constituintes maioritários eram a areia (variou entre 23,83% e 56,54%) e o silte (variou entre 30,67% e 55,57%). Segundo a classificação proposta por Flemming (2000) as amostras foram classificadas como #2 areia siltosa, #3 silte/areia/argila, #4 areia siltosa, #5 areia siltosa, #6 silte arenoso, #7 silte/areia/argila, #8 silte arenoso, #9 silte/areia/argila, #10 e #11 silte arenoso.



**Figura 4.32.** Percentagem de areia (barra verde), silte (barra bege), argila (barra laranja) e cascalho (barra castanha) que compõe as amostras colhidas do nível 2-4 cm.

## b) Teor Carbono vs. Matéria orgânica

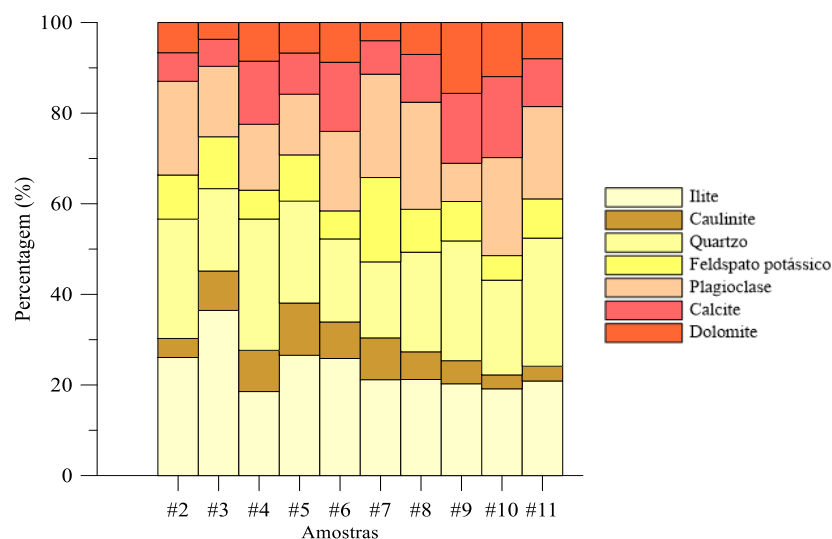
Tendo em consideração a Figura 4.33 foi possível constatar-se que tanto a percentagem de matéria orgânica como a de carbonato de cálcio oscilou significativamente de amostra para amostra. A percentagem de matéria orgânica variou entre 3% e 5,2% tendo atingido o valor máximo na amostra #7 e mínimo na amostra #4. Por sua vez a percentagem de carbonato de cálcio variou entre 4,2% e 9,2%, atingindo o valor máximo na amostra #8.



**Figura 4.33.** Variação da percentagem de matéria orgânica (linha a cheio preta) e do teor em carbonato de cálcio (barra cinzenta) do nível 2-4 cm, calculado a partir dos valores de TIC e TOC.

## c) Mineralogia das partículas detríticas

As partículas detríticas que constituíam este nível eram: ilite, caulinite, quartzo, feldspato potássico, plagioclase, calcite e dolomite (Figura 4.34).



**Figura 4.34.** Composição mineralógica das partículas detríticas que constituem as amostras, do nível 2-4 cm: ilite, caulinite, quartzo, feldspato potássico, plagioclase, calcite, dolomite.



**Tabela 4.6.** Mineralogia das partículas detríticas constituintes do nível 2-4 cm, obtidos por difração raios-X (a); Percentagem de filossilicatos, silicatos e carbonatos de cada amostra do nível 2-4 cm (b).

Amostr s	Ilite (%)	Caulinite (%)	Quartzo (%)	Feldspato Potássico (%)	Plagioclase (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)
#2	26	4	26	10	21	6	7
#3	36	9	18	11	16	6	4
#4	19	9	29	6	15	14	9
#5	27	12	22	10	13	9	7
#6	26	8	18	6	18	15	9
#7	21	9	17	19	23	7	4
#8	21	6	22	9	24	11	7
#9	20	5	26	9	8	15	16
#10	19	3	21	5	22	18	12
#11	21	3	28	9	20	11	8

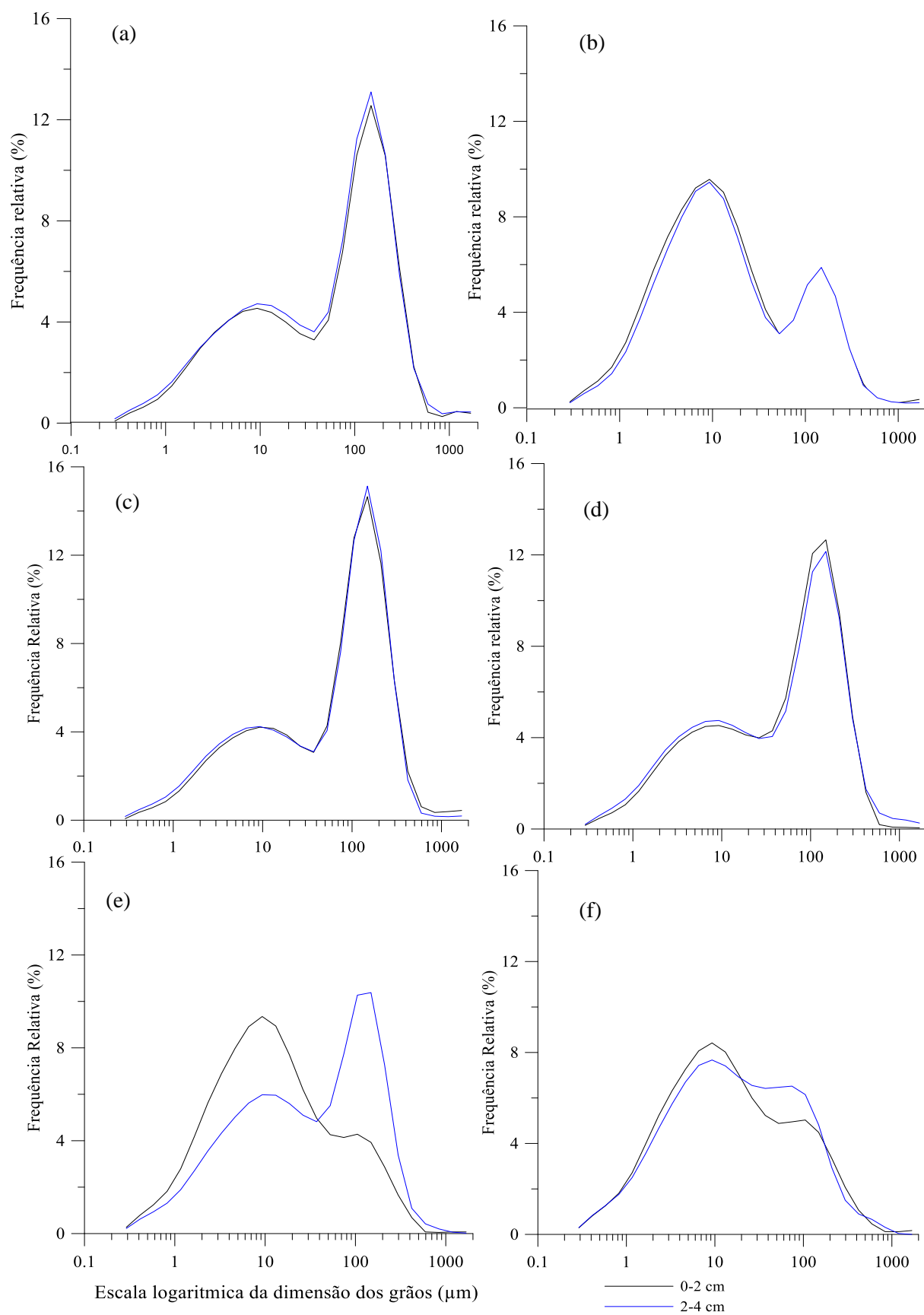
(a)

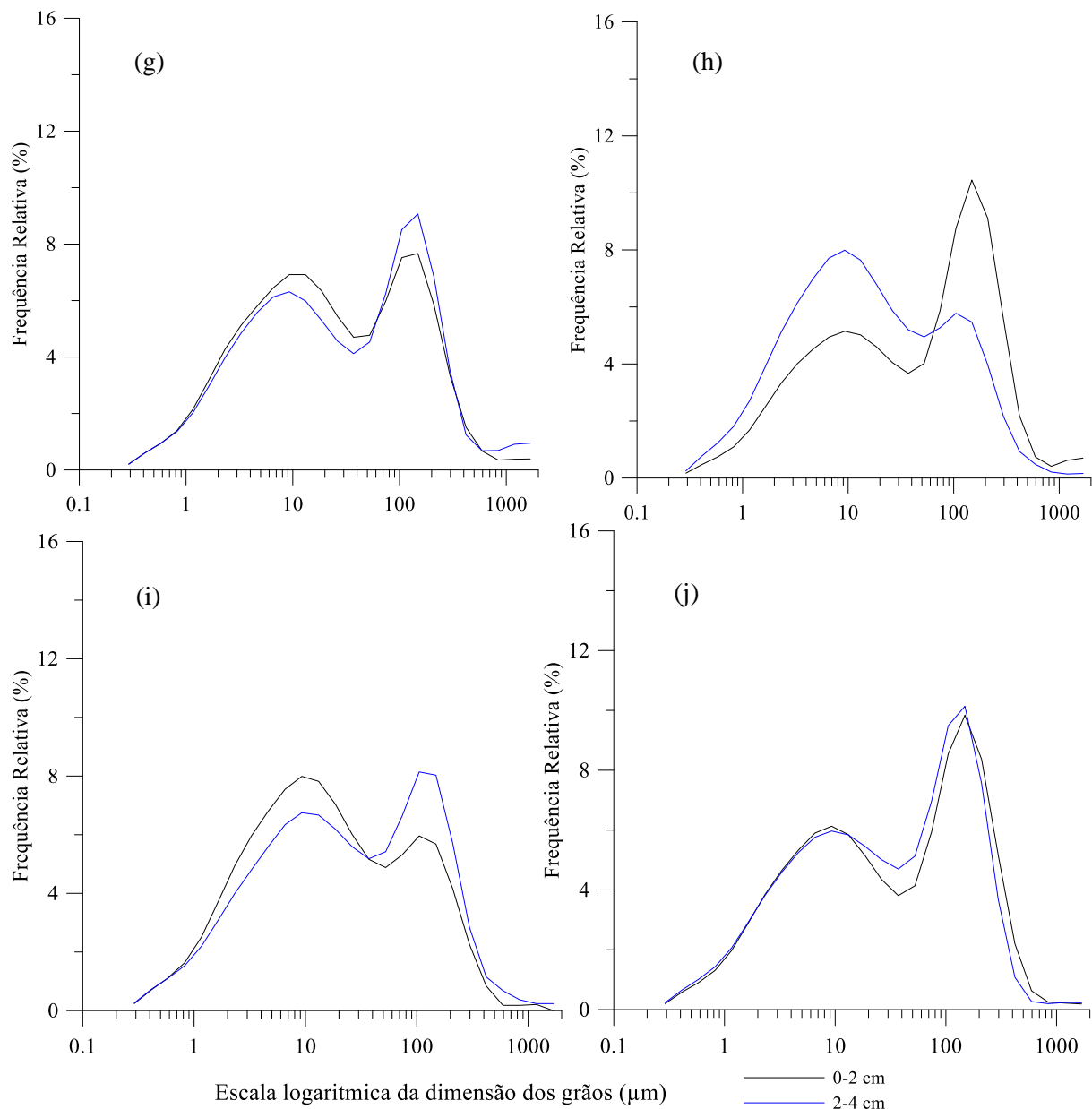
Amostr s	Filossilicatos (%)	Silicatos (%)	Carbonatos (%)
#2	30	57	13
#3	45	45	10
#4	28	50	22
#5	38	46	16
#6	34	42	24
#7	30	58	11
#8	27	55	18
#9	25	44	31
#10	22	48	30
#11	24	57	19

(b)

De acordo com a Tabela 4.6a os minerais mais abundantes que constituíam as partículas detríticas eram ilite (19%-36%), quartzo (17%-29%) e plagioclase (8%-24%). A caulinite, calcite, dolomite e feldspato potássico variaram entre 3%-12%, 6%-18%, 4%-16%, 5%-19%, respectivamente. Todas as amostras do nível 2-4 cm eram constituídas maioritariamente por silicatos, entre 42% e 58% (Tabela 4.6b). Os filossilicatos nas amostras variaram entre 22% e 45% enquanto os carbonatos variaram entre 10% e 31%.

#### d) Análise da moda granulométrica de ambos os níveis





**Figura 4.35.** Moda granulométrica dos os níveis 0-2 cm (linha a cheio preta) e 2-4cm (linha a cheio azul) das amostras colhidas: #2 (a); #3 (b); #4 (c); #5 (d); #6 (e); #7 (f); #8 (g); #9 (h); #10 (i); #11 (j).

Na Figura 4.35 estão representadas as curvas granulométricas dos níveis 0-2 cm e 2-4 cm em todas as amostras. Encontrava-se bem definida a moda dos 10  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$  tendo sido designadas curvas bimodais. As amostras #2, #3, #4, #5, #8 e #11 sugeriram que os sedimentos se encontravam homogeneizados enquanto as restantes (#6, #7, #9, #10) aparentavam conter sedimentos menos homogeneizados.

As amostras #2, #4, #5, #8 e #11 representadas na Figura 4.35a, Figura 4.35c, Figura 4.35d, Figura 4.35g e Figura 4.35j mostram que a moda dominante em ambos os níveis é 150  $\mu\text{m}$ . Isto indicou a predominância de partículas mais grosseiras, nomeadamente da classe das areias. Observou-se a sobreposição das curvas bimodais de ambos os níveis.

Na amostra #3 (Figura 4.35b) a moda predominante é 10  $\mu\text{m}$  que indicou a dominância de partículas mais finas em ambos os níveis (0-2 cm e 2-4 cm). Tal como nas amostras anteriores há sobreposição das curvas indicando que a camada dos 0-4 cm se encontrava homogeneizada.

As amostras #6 e #10 (Figura 4.35e e Figura 4.35i) apresentavam duas curvas bimodais distintas em cada um dos níveis. No nível 0-2 cm a moda predominante era a 10  $\mu\text{m}$  (partículas mais finas) enquanto no nível 2-4 cm a moda predominante era 150  $\mu\text{m}$  (partículas mais grosseiras).

De acordo com a Figura 4.35f a amostra #7 mostra a dominância da moda 10  $\mu\text{m}$  em ambos os níveis. No entanto as curvas não se sobrepunham indicando que os sedimentos não estavam bem homogeneizados.

Por fim, a amostra #9 tinha uma moda predominante que diferia entre os níveis (Figura 4.35h). No nível 0-2 cm a moda que prevalecia era 150  $\mu\text{m}$  enquanto no nível 2-4 cm era 10  $\mu\text{m}$ . Assim sendo, o nível superior é constituído por partículas mais grosseiras e o imediatamente abaixo por partículas mais finas.

#### **4.2.3. Nanoplâncton calcário vs. Sedimentologia**

De forma a correlacionar as componentes em estudo de nanoplâncton calcário e sedimentologia efetuaram-se gráficos de correlação entre: a concentração de cocólitos, a % matéria orgânica, a % carbonato de cálcio e a % de finos em ambos os níveis (0-2 cm e no 2-4 cm), conforme o anexo G. No nível 0-2 cm constatou-se que os valores do coeficiente de correlação (r) calculados a partir do valor de  $R^2$  eram: (i) 0,26 para concentração de cocólitos vs. % matéria orgânica; (ii) -0,54 entre concentração de cocólitos vs. % de carbonato de cálcio; (iii) -0,12 para a concentração de cocólitos vs. % finos.

Por outro lado, no nível 2-4 cm observou-se que os valores do coeficiente de correlação (r) eram: (i) 0,04 entre a concentração de cócolitos vs. % matéria orgânica; (ii) -0,56 para a concentração de cocólitos vs. % carbonato de cálcio; 0,45 entre a concentração de cocólitos vs. % finos.

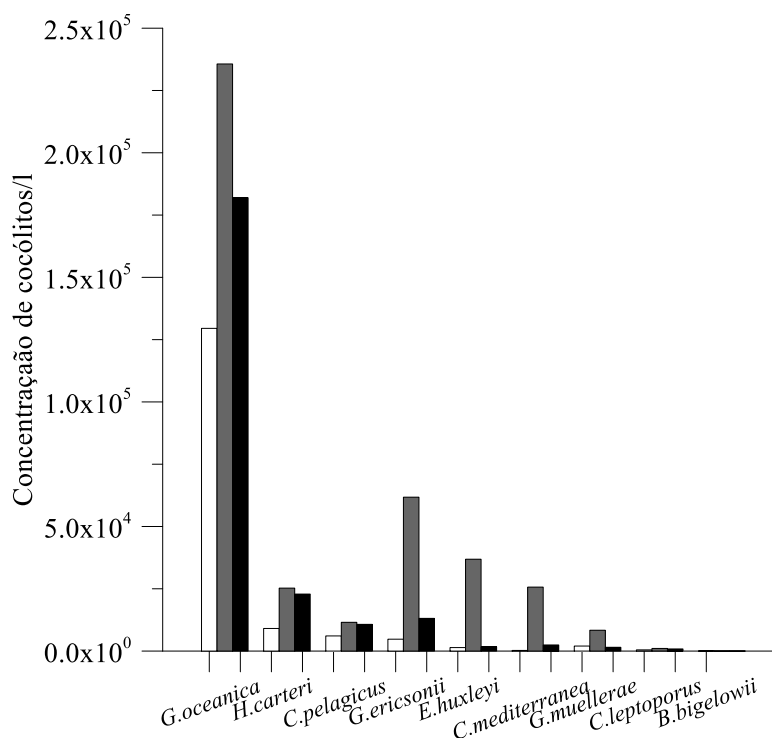
## Capítulo 5

### Discussão

A análise detalhada dos dados oceanográficos, sedimentológicos e de nanoplâncton calcário na coluna de água e nos sedimentos de fundo permitiu caracterizar a dinâmica do local em estudo.

#### Coluna de água

Durante a análise do nanoplâncton calcário na coluna de água, secção 4.1.1., foram identificadas as seguintes espécies: *B. bigelowii*, *C. leptoporus*, *C. pelagicus*, *C. mediterranea*, *E. huxleyi*, *G. ericsonii*, *G. muelleriae*, *G. oceanica* e *H. carteri*. De acordo com os gráficos de variação de cocosferas/l e cocólitos/l para cada espécie (secção 4.1.1.1.) constatou-se que a concentração de cocólitos/l era significativa quando comparada com a concentração de cocosferas/l e, portanto, este estudo focou-se na variação de cocólitos/l.



**Figura 5.1.** Valores médios de concentração de cocólitos/l para as espécies *G. oceanica*, *H. carteri*, *C. pelagicus*, *G. ericsonii*, *E. huxleyi*, *C. mediterranea*, *G. muelleriae*, *C. leptoporus* e *B. bigelowii*, durante as fases da maré, com base nos dados dos gráficos de variação individual (ver secção 4.1.1.1.). Enchente – barra branca; estofa – barra cinzenta; Vazante – Barra preta;

Na Figura 5.1 estão representados os valores médios da concentração de cocólitos/l das espécies acima referidas durante as três fases da maré: (i) a fase de enchente que corresponde às estações #2, #3 e #4; (ii) ao estofa da maré nomeadamente as estações #5 e #6; (iii) fase de vazante constituída pelas estações #7, #8, #9, #10 e #11. Observa-se que os valores médios máximos para as espécies referidas são detetados na fase do estofa da maré, sendo a espécie *G. oceanica* a espécie mais abundante. Tendo em conta a Figura 5.1 e os gráficos da variação individual de cocólitos/l para cada espécie (Figura 4.1a/Figura 4.2a/Figura 4.3a/Figura 4.4a/Figura 4.5a/Figura 4.6a/Figura 4.7a/Figura 4.8a/Figura 4.9a) reconheceu-se a presença de duas associações distintas: (a) uma que caracterizava o subdomínio nerítico (massa de água mais perto da costa) constituída pelas espécies *G. oceanica*, *H. carteri* e *C. pelagicus*; (b) outra que caracterizava o subdomínio oceânico (massa de água mais afastada da linha de costa) que

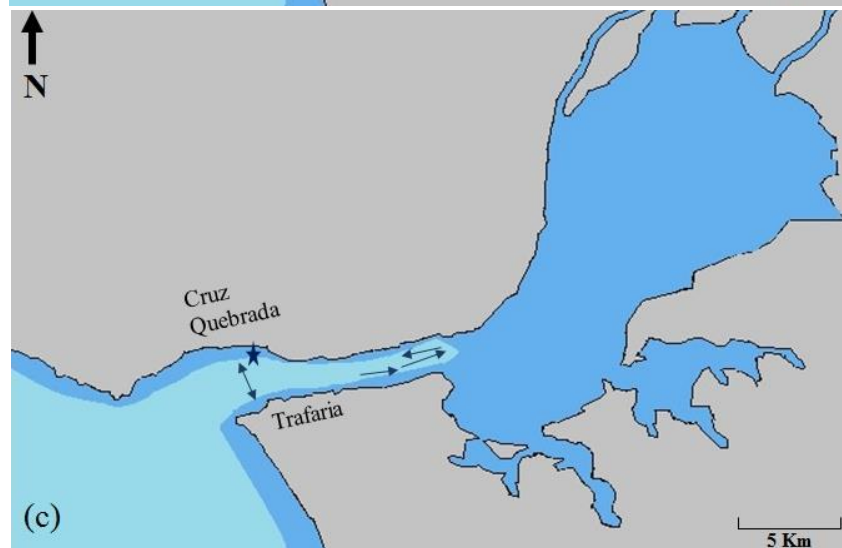
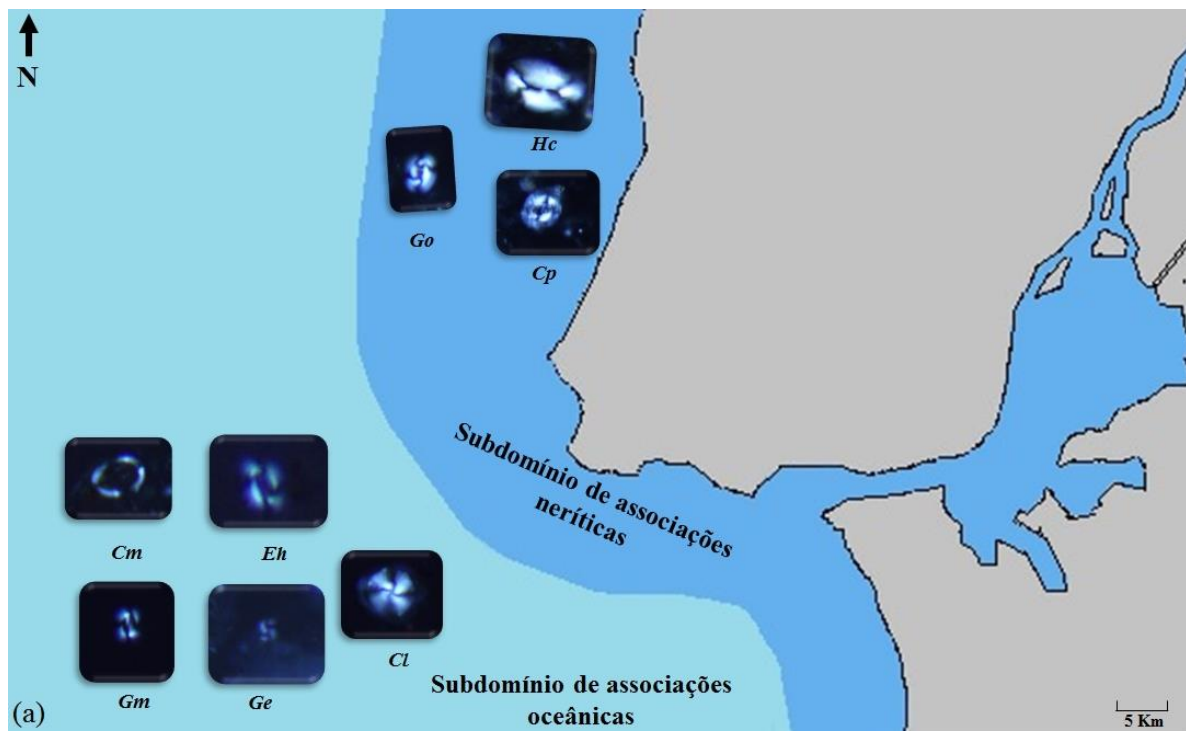
era composta pelas espécies *G. ericsonii*, *E. huxleyi*, *C. mediterranea* e *G. muelleriae*. Detetou-se durante esta análise que o máximo de cocólitos/l da associação do subdomínio oceânico ocorreu no início do estofo da maré (estação #5). Por sua vez o máximo de cocólitos/l da associação do subdomínio nerítico ocorreu apenas no fim do estofo da maré (estação #6). Estes dados colocaram a questão do porquê de serem detetadas primeiramente as espécies mais longe da linha de costa (associação do subdomínio oceânico) no local de amostragem e de seguida as espécies da associação do subdomínio nerítico.

Elaborou-se uma hipótese com o intuito de explicar as diferenças biogeográficas acima reportadas tendo em conta a ecologia das espécies envolvidas (Figura 5.2a). Essa hipótese tinha por base o modelo oceanográfico, MOHID, da Maretec, nomeadamente os traçadores langrangeanos da velocidade da corrente no dia de amostragem (anexo J). Resumidamente o modelo MOHID assenta nos seguintes pressupostos: (i) a existência de um canal central preferencial de circulação no estuário do Tejo (Fernandes, 2005); (ii) durante a enchente a entrada de água ocorre preferencialmente pela margem direita/Norte (MARETEC); (iii) Ocorrência de dois vórtices sazonais resultantes da circulação residual de vários ciclos de maré. A zona em estudo foi considerada uma zona “sombra” localizada fora do canal central do estuário e, portanto, tem valores de velocidade inferior (anexo J).

De acordo com a Figura 5.2 a hipótese proposta considera:

1. Numa primeira fase há a entrada da massa de água do subdomínio nerítico preferencialmente pelo sector mais central do curso fluvial e de seguida a entrada da massa de água do subdomínio oceânico (Figura 5.2b);
2. Na segunda fase, durante o estofo da maré, há a mistura das duas massas de água (Figura 5.2c) conforme as variações de salinidade e temperatura detetadas (Figura 5.3);
3. Numa fase final as massas de água da associação do subdomínio nerítico vão sair no fim do estofo da maré/início da vazante levando ao incremento “tardio” da concentração de cocólitos/l no local de amostragem (Figura 5.2d);

Assim sendo, houve a entrada da massa de água do subdomínio nerítico comprovado pelo aumento progressivo da concentração de cocólitos/l da espécie *G. oceanica* (Figura 4.8a) seguida da massa de água do subdomínio oceânico ainda durante a fase de enchente (Figura 5.2b). Na Figura 5.2c observou-se a advecção da massa de água do subdomínio oceânico na fase inicial do estofo da maré (estação #5) coincidindo com a deteção do pico de concentração de cocólitos/l na mesma. No fim do estofo da maré (estação #6) detetou-se a inversão das massas de água no sector Cacilhas-Terreiro do Paço (Bettencourt *et al.*, 2003) que possibilitou que houvesse o máximo de concentração de cocólitos que constituem a associação do subdomínio nerítico no local de amostragem (Figura 5.2d). Por fim, o canal central ficou de novo ativo no início do período de vazante expulsando estas massas de água de maior influência oceânica para o exterior do estuário, assinalado pelo decréscimo na concentração de cocólitos/l dessas espécies mais acentuado na associação do subdomínio oceânico. A hipótese colocada não englobava a espécie *C. leptoporus* devido ao seu comportamento díspar apesar do seu carácter oceânico e da sua ocorrência em ambientes oligotróficos (Brand, 1994). Nesta espécie a concentração de cocólitos/l aumentou progressivamente até atingir o valor máximo na estação #9 (fase de vazante) a partir da qual deixou de ser detetada.



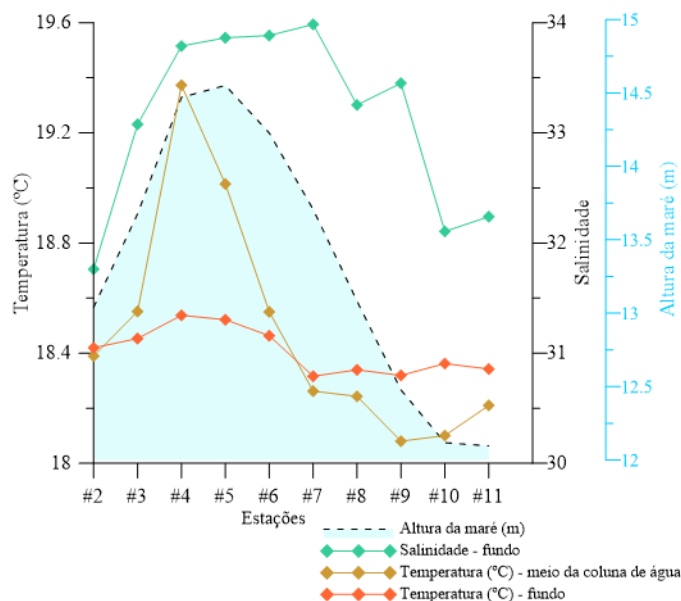


**Figura 5.2.** Modelo proposto para explicar a entrada das associações (do subdomínio nerítico e oceânico) detetadas no local de amostragem no estuário do Tejo, com base nos resultados obtidos durante a amostragem no projeto SEDEX 2015 (a); Representação da entrada das massas de água no estuário do Tejo e das diferentes associações (estações #2,#3,#4) (b); Dispersão das massas de água para o local em estudo durante o estófo da maré (Estação #5) e início da inversão da massa de água no troço de Cacilhas – Terreiro do Paço (c); representação do fim do estófo da maré e início da fase de vazante (d).

Neste trabalho aplicou-se o modelo de Litos vs. Esferas (L/S) proposto por Cachão & Oliveira (2000) nas espécies *G. ericsonii*, *G. oceanica*, *E. huxleyi*, *C. mediterranea*, *G. muelleriae*, e *H. carteri* (Figura 4.10). Foi possível identificar dois comportamentos distintos um protagonizado pelas espécies *G. oceanica*, *E. huxleyi*, *C. mediterranea*, *G. muelleriae*, e *H. carteri* e outro pela espécie *G. ericsonii*. O comportamento do primeiro grupo apresenta igual desvio-padrão de litos e esferas revelando que estas espécies já se encontravam em desenvolvimento e mantiveram-se em desenvolvimento. Este comportamento corresponde ao que foi descrito no modelo L/S como uma fase de *steady state* (Cachão & Oliveira, 2000). Dada a natureza particular da dinâmica do local verificou-se que nos casos das espécies *E. huxleyi*, *C. mediterranea*, *G. muelleriae*, e *H. carteri* a maior variabilidade de litos e esferas ocorreu durante o estófo da maré, altura em que terá ocorrido a mistura das duas massas de água. Porém na espécie *G. oceanica* a variabilidade foi diminuindo durante o ciclo de maré tendo-se registado uma maior abundância de células e litos no início (como expectável para uma forma com desenvolvimento preferencial costeiro). Progressivamente esta espécie foi perdendo variabilidade que poderia estar associada a uma provavelmente retenção da mesma no estuário. A única espécie que apresentou um comportamento diferente foi a espécie *G. ericsonii* evidenciando um possível desenvolvimento de novas células (= bloom). Neste caso observou-se os três estádios deste modelo *bloom* (aumento da variabilidade de esferas), *steady state* (máximo da variabilidade de litos e esferas) e por último uma situação de *decay* (diminuição da variabilidade de litos e de esferas), conforme a Figura 4.10a. Porém, é necessário não esquecer que este é um ambiente dinâmico e, portanto, não se pode fazer as mesmas elações que se faz perante um ambiente ao largo mais propício para o desenvolvimento destas espécies. Neste caso estas variações de abundância podem ter sido resultado do transporte das diferentes massas de água, que por sua vez, pode ter-se refletido na maior ou menor variabilidade de litos e esferas.

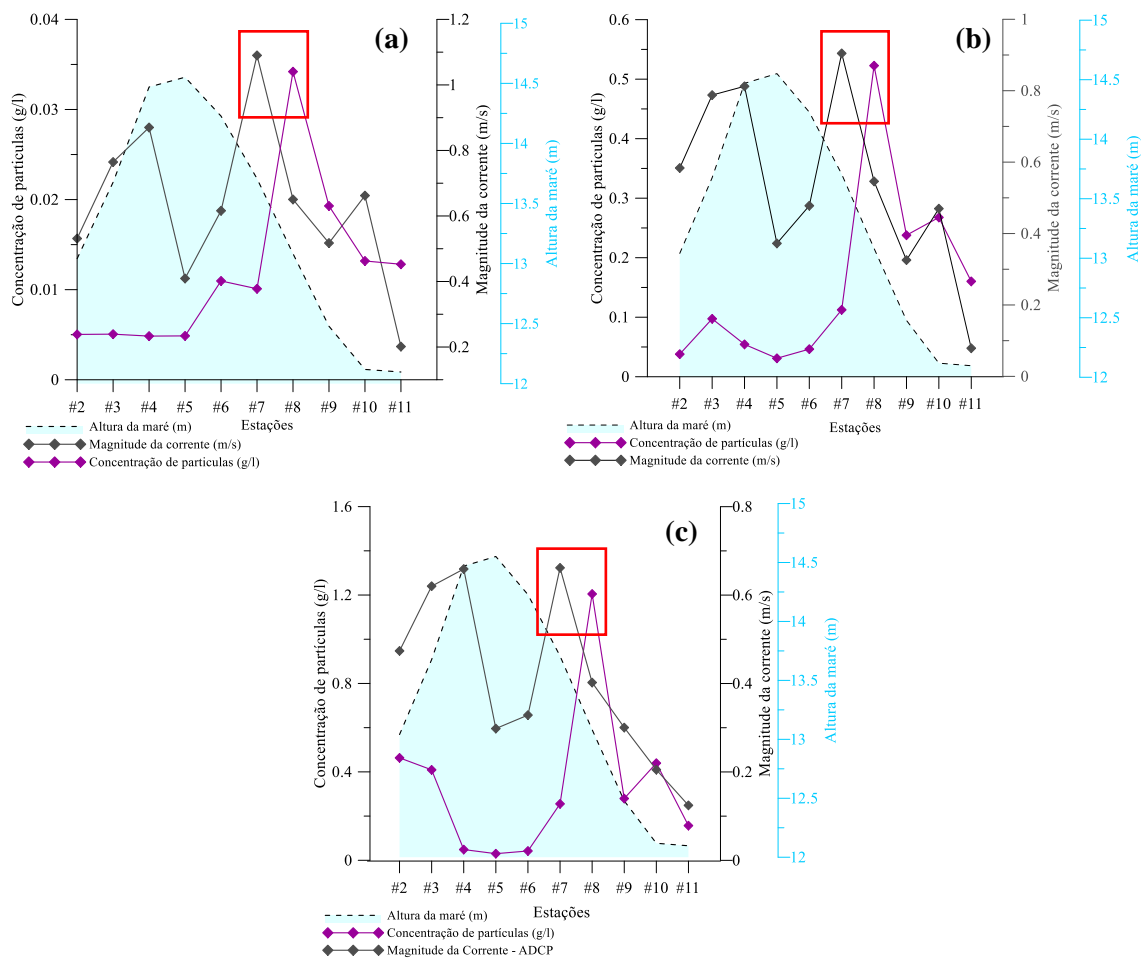


A análise dos valores de salinidade (RCM9) e temperatura (LISST), Figura 5.3, sugeriu a existência de duas massas de água distintas. A massa de água detetada durante a fase de enchente era mais salina (32 a 34) e quente (18,4-18,5°C junto ao fundo e 18,4-19,4°C a meio da coluna de água) correspondendo à massa de água com características oceânicas. Durante o estófo da maré, estações #5 e #6, a salinidade manteve-se constante tendo existido uma diminuição da temperatura. Esta diminuição da temperatura poderia indicar a mistura da massa de água com características oceânicas com a massa com características estuarinas, conforme referido por vários autores inclusive Bettencourt *et al.* (2003). A massa de água estuarina foi detetada durante a fase de vazante apresentando valores menores de salinidade, entre 32 e 33 e temperatura entre 18,1-18,3°C e 18,3-18,4°C, a meio da coluna de água e junto ao fundo, respetivamente (Figura 5.3).



**Figura 5.3.** Variação da salinidade (linha a cheio esverdeada), da temperatura (linha a cheio laranja) junto ao fundo obtida pelo RCM9, e da temperatura (linha a cheio acastanhada) a meio da coluna de água (obtida pelo LISST) ao longo do ciclo de maré (representado pela altura da maré a sombreado) permitindo a identificação das duas massas de água com características distintas: marinha e estuarina.

A concentração de partículas em suspensão à superfície (Figura 4.14), a meio da coluna de água, junto ao fundo (Figura 4.13) e ao longo da coluna de água (Figura 4.15), obtidos pelos diferentes métodos mostrou que houve um aumento progressivo da superfície para junto ao fundo. Apesar da concentração ter sido obtida por diferentes equipamentos constatou-se que à superfície as concentrações eram mais baixas (entre 0,005 g/l e 0,034 g/l conforme os resultados da análise dos filtros) enquanto, a meio da coluna de água e junto ao fundo as concentrações eram mais elevadas (variando entre 0,03-0,52 g/l e 0,03-1,20 g/l, respetivamente) conforme reportado por Vale & Sundby (1987). Assim o máximo de concentração de partículas em suspensão ao longo da coluna de água ocorreu durante a fase de vazante, estação #8 (à superfície é 0,034 g/l, a meio da coluna de água é 0,52 g/l e junto ao fundo 1,20 g/l) coincidindo com o valor máximo de turbidez de 124 FTU (Figura 4.17).

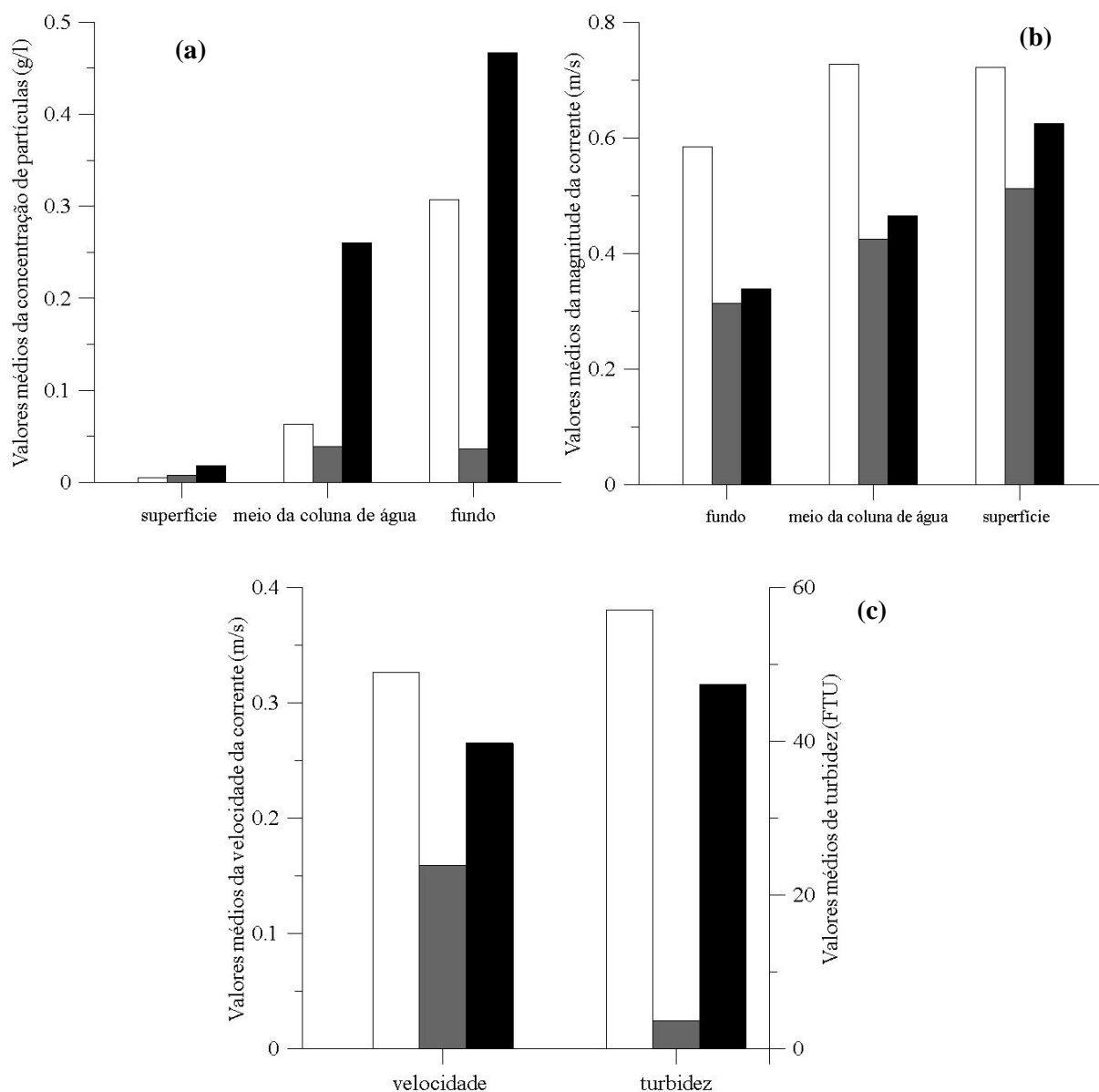


**Figura 5.4.** Variação da concentração de partículas (g/l) durante o ciclo de maré vs. a magnitude da corrente (m/s). (a) à superfície; (b) a meio da coluna de água; (c) junto ao fundo, estando assinalado com o retângulo a vermelho o desfasamento entre o máximo do valor de magnitude e a concentração de partículas em suspensão dos diferentes níveis da coluna de água.

Na Figura 5.4a, Figura 5.4b e Figura 5.4c está evidenciado o desfasamento entre o máximo do valor de magnitude da corrente (m/s) detetado na estação #7 e a concentração máxima de partículas em suspensão na estação #8. O máximo da velocidade da corrente (Figura 4.21) foi detetado na mesma estação em que foi detetado o valor máximo da magnitude da corrente, na estação #7. Porém é necessário referir que a magnitude da corrente diminuiu da superfície para o fundo (por exemplo, na estação #4, de 0,87 m/s para 0,66 m/s), Figura 4.20, conforme referido por vários autores inclusive Toubanc *et al.*, (2013). O desfasamento acima referido sugere que o máximo de concentração de partículas em suspensão pode não corresponder unicamente à ressuspensão local, mas também, ao transporte de material de regiões a montante do local em estudo. Durante o estófo da maré (Figura 5.4) os valores de concentração e magnitude tiveram tendência a diminuir, porém nunca para valores nulos sugerindo uma possível deposição dessas partículas.

De forma a compreender as variações dos valores de magnitude da corrente, velocidade da corrente, concentração de partículas em suspensão e turbidez agrupou-se as estações nas três fases da maré conforme foi efetuado na componente do nanoplâncton calcário.

A Figura 5.5a mostra que os valores médios da concentração de partículas tanto à superfície como a meio da coluna de água e junto ao fundo eram mais elevados durante a fase de vazante. A meio da coluna de água e junto ao fundo detetou-se concentrações bastante reduzidas durante o estófo da maré quando comparadas com a fase de enchente e vazante sugerindo a deposição de sedimentos no estófo da maré. Os valores médios da magnitude da corrente à superfície, a meio da coluna de água e junto ao fundo (Figura 5.5b) eram mais elevados durante a fase de enchente. Junto ao fundo os valores médios da velocidade da corrente e da turbidez (Figura 5.5c) eram mais elevados durante a fase de enchente conforme observado nos valores da magnitude da corrente (Figura 5.5b). Porém as estações em que se detetou os valores máximos para estes parâmetros foi a estação #7 (magnitude da corrente na Figura 4.20 e velocidade da corrente na Figura 4.21) e #8 (concentração de partículas em suspensão nas Figura 4.13/Figura 4.14/Figura 4.15 e turbidez na Figura 4.17) que coincidiram com a fase de vazante, conforme reportado no estuário do Kana (Kitheka *et al.*, 2005).



**Figura 5.5.** Variação dos valores médios da concentração de partículas em suspensão, em g/l (a); da magnitude da corrente, em m/s (b); da velocidade da corrente (m/s) e da turbidez, em FTU (c) nas diferentes fases da maré. Fase de enchente - barra branca; estófo da maré - barra cinzenta e fase de vazante - barra preta.

As diferenças observadas entre os valores médios da velocidade da corrente, magnitude da corrente e turbidez calculados para cada uma das fases da maré (valores máximos durante a enchente) em cada uma das estações (valores máximos durante a vazante) poderiam estar relacionadas com: (i) o facto de o estuário do Tejo apresentar uma onda de maré assimétrica traduzida por períodos de vazante persistentemente mais curtos do que os de enchente (Freire, 1999), daí as velocidades serem maiores durante a vazante (Gameiro, 2009); (ii) a amostragem ter decorrido num período de transição de marés mortas para marés vivas com consequente variação das correntes e, portanto, estar-se numa transição de um ciclo de sedimentação-erosão no estuário (Vale & Sundby, 1987); (iii) A amplitude de maré durante o dia da amostragem ter variado entre 0,85 m e 3,26 m no porto de Cascais e, 0,88 m e 3,69 m no porto de Lisboa (anexo E) afetando os valores máximos de turbidez, correspondendo a uma ressuspensão de sedimentos (Vale & Sundby, 1987); (iv) o facto do valor diário do caudal do rio Tejo no dia da amostragem (146,36 m<sup>3</sup>/s) ser superior ao valor médio do mês de novembro de 2015, nomeadamente 84,19 m<sup>3</sup>/s (Figura 4.23). Contrariamente ao observado nos restantes parâmetros o máximo dos valores médios da concentração de partículas em suspensão ocorreu na fase de vazante onde existia maiores velocidades promovendo a ressuspensão. Foi junto ao fundo que se obteve maiores concentrações tal como foi reportado por Vale & Sundby (1987).

A mineralogia das partículas em suspensão (Figura 4.22) era dominada por ilite e caulinite (ambos filossilicatos, mais finos e com forma planar) que se mantinham em suspensão, com tendência a flocular e depositar-se no fundo (Trento, 2005).

### **Sedimentos de fundo**

A análise de nanoplâncton calcário nos sedimentos de fundo (secção 4.2.1.) demonstrou a existência de espécies atuais e espécies fósseis (remobilizadas). Tanto no nível 0-2 cm como no nível 2 - 4 cm constatou-se que as espécies atuais predominavam face às espécies fósseis (Figura 4.25 e Figura 4.27) com percentagens acima dos 70 %. As espécies fósseis observadas eram maioritariamente de idade miocénica, como por exemplo, a *R. productus* e *R. minuta* podendo ser provenientes de zonas a montante do rio Tejo onde existem formações desta idade (secção 2.2.). Quanto às restantes espécies *W. biporta* e *W. barnesiae* são espécies de idade cretácica que podem ser provenientes do Cretácico de Lisboa ou então serem transportadas do exterior do estuário para o seu interior.

É necessário referir que a realização de replicados foi fundamental neste estudo. Caso não tivessem sido realizados replicados para cada amostra iria ser colocada a hipótese de ter ocorrido uma variação espacial relacionada com os dois grupos de amostragem, que de acordo com a Figura 4.24 e Figura 4.26 não existe. As figuras referidas anteriormente mostram a existência de uma variabilidade entre os dois níveis (0-2 cm e 2-4 cm) assinalada pela variação dos valores de desvio-padrão (apenas possível devido à existência de replicados). Os gráficos box-plot analisados corroboraram o facto de as espécies de nanoplâncton calcário identificadas não apresentarem uma variação consistente entre níveis, sugerindo a inexistência de uma relação direta com um ciclo de maré em particular (Anexo H e anexo I). Neste sentido os dados sugeriram que os cocólitos presentes nos sedimentos de fundo do local de amostragem eram resultado de uma sucessão de vários ciclos de marés com condições que permitiram a deposição de cocólitos. A presença de pelóides fecais e de fragmentos de cocosferas nos sedimentos de fundo sugeriu que a sua deposição foi efetuada durante os períodos mais calmos da maré, tendo existido a interferência da atividade biológica de zooplâncton e outros predadores (Honjo, 1976).

Os sedimentos de fundo do nível 0-2 cm e 2-4 cm do ponto de vista textural e composicional não variaram muito entre si, porém existiam algumas diferenças que serão abaixo descritas. De acordo com a análise granulométrica (secção 4.2.2.1. e a 4.2.2.2) a média dos sedimentos de fundo variou no nível 0-2 cm entre 4,25 – 6,3 mm e no nível 2-4 cm entre 4,53 – 5,99 mm (Tabela 4.1 e Tabela 4.2).

Os valores do *sorting index* (Trask, 1932) permitiram classificar os sedimentos que constituem estes níveis como areia mal calibradas/selecionadas ou areias pouco calibradas/selecionadas. Quanto à assimetria das partículas detríticas que constituem estes sedimentos variou entre níveis de cada amostra e também entre amostras sugerindo uma variabilidade espacial, tendo em consideração a Tabela 4.2. e a Tabela 4.5. Os sedimentos do nível 0-2 cm e do nível 2-4 cm são compostos maioritariamente por areia e silte (Figura 4.29 e Figura 4.32). A classificação de Flemming (2000) que tem em consideração as diferentes percentagens de silte, areia, cascalho e argila nos dois níveis (Figura 4.30 e Figura 4.33) permitiu caraterizar os sedimentos de fundo como silte argiloso, silte arenoso, areia siltosa, areia, silte e argila (também reportado por Oliveira *et al.*, 2016). A percentagem de carbonato de cálcio variou entre 5% e 17,7% no nível 0-2 cm e entre 4,2% e 9,2% no nível 2-4 cm (Figura 4.31 e Figura 4.34, respetivamente). Isto poderá ser resultado de uma maior contribuição marinha que influenciou sobretudo o nível 0-2 cm.

A análise da moda do nível 0-2 cm e do nível 2-4 cm (Figura 4.35) permitiu destacar a existência de amostras em que a camada dos 0-4 cm evidencia estar bem homogeneizada e amostras em que a camada dos 0-4 cm aparenta ter estratificação. Em ambos os níveis, 0-2 cm e 2-4 cm, verificou-se a existência de curvas bimodais nomeadamente a moda 10  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$  (Figura 4.35). A análise em causa permitiu identificar dois grupos de amostras com diferenças nas curvas bimodais que por sua vez indicam a maior ou menor homogeneização dos sedimentos. A maior ou menor homogeneização poderá estar relacionada com a bioturbação (evidenciada no registo fotográfico no anexo K); a variação das condições hidrodinâmicas no local; ou com a influência das descargas da ribeira do Jamor (das quais não se tem dados). Assim, o primeiro grupo é composto pelas amostras #2, #3, #4 e #5 que aparentavam estar homogéneas (Figura 4.35a/b/c/d) e com evidências de biotubação (anexo K). O segundo grupo é constituído pelas restantes amostras (#6, #7, #8, #9, #10 exceto a #11) cujas curvas bimodais não se sobrepõem provando a existência de estratificação na camada dos 0-4 cm.

De acordo com as taxas de sedimentação calculadas por Silva (2013) estes dois níveis correspondem a 2 anos de sedimentação considerando a taxa de sedimentação 2,2 cm/ano; ou 6 anos assumindo que a taxa de sedimentação é 0,7 cm/ano. Assim a diferenciação entre os níveis afetados ou não pela bioturbação sugere que pode não existir uma variação espacial, mas uma variação temporal que em determinadas amostras está encoberta pela atividade biológica.

Em suma, a correlação entre a componente do nanoplâncton calcário e as partículas que compõe os sedimentos de fundo mostrou que no nível 0-2 cm e no 2-4 cm (anexo G): (i) não há correlação com a percentagem de matéria orgânica sugerindo que esta não afeta a abundância de cocólitos; (ii) há uma correlação negativa entre a concentração de cocólitos e a percentagem de carbonato de cálcio indicando que o carbonato de cálcio presente não corresponde apenas à componente de nanoplâncton calcário mas maioritariamente a fragmentos de conchas; (iii) não há correlação significativa entre a quantidade de nanoplâncton retido nos sedimentos e a fração mais fina, ou seja, a sua deposição esteve condicionada por processos ecológicos e não por processos tafonómicos.

## Coluna de água vs. Sedimentos de fundo

A componente de nanoplâncton calcário detetada na coluna de água e nos sedimentos de fundo mostrou que não existe um reflexo direto entre o que está na coluna de água e o que está nos sedimentos. Porém é necessário referir que a espécie mais abundante era a *G. oceanica* quer na coluna de água como nos sedimentos de fundo. Estes dados reforçaram a ideia de que o nanoplâncton que se encontrava nos sedimentos de fundo era o reflexo de vários ciclos de maré.

Tendo em conta os dados existentes sobre as partículas em suspensão junto ao fundo (secção 4.1.2.2.) e dos sedimentos de fundo que constituem o nível superficial 0-2 cm (secção 4.2.2.1.) foi possível analisar a relação entre ambos.

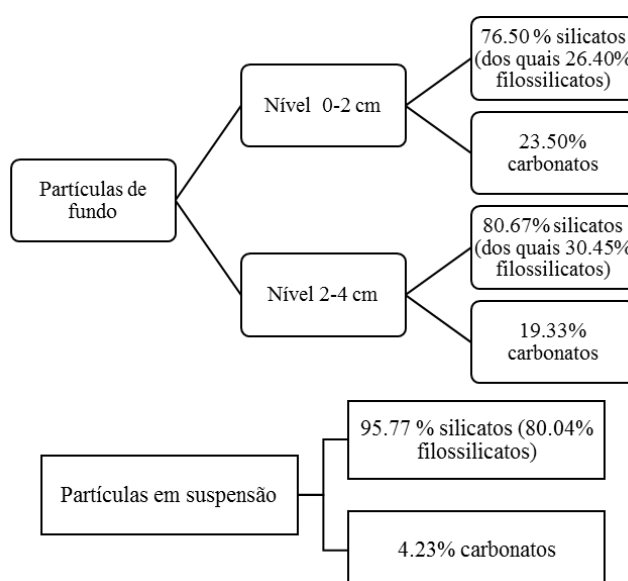
No anexo L está representada a moda dos sedimentos de fundo (obtidas pela análise granulométrica) e das partículas em suspensão junto ao fundo (obtidas pelo LISST) nas diferentes amostras que variou entre 100-150 µm. Esta moda corresponde à areia fina que apresenta uma maior ou menor frequência evidenciada pela curva granulométrica nas diferentes amostras.

Durante a fase de enchente, nas estações #2, #3 e #4, as areias mais finas aparentavam estar em suspensão possivelmente devido à velocidade da corrente de fundo detetada pelo RCM9 (Figura 4.21.), evidenciada pela maior expressão das curvas.

No estofo da maré, estações #5 e #6, houve uma suavização da curva (anexo L) que pode indicar a deposição deste material fino visto existir a diminuição da magnitude da corrente (Figura 4.20) e da velocidade da corrente (Figura 4.21).

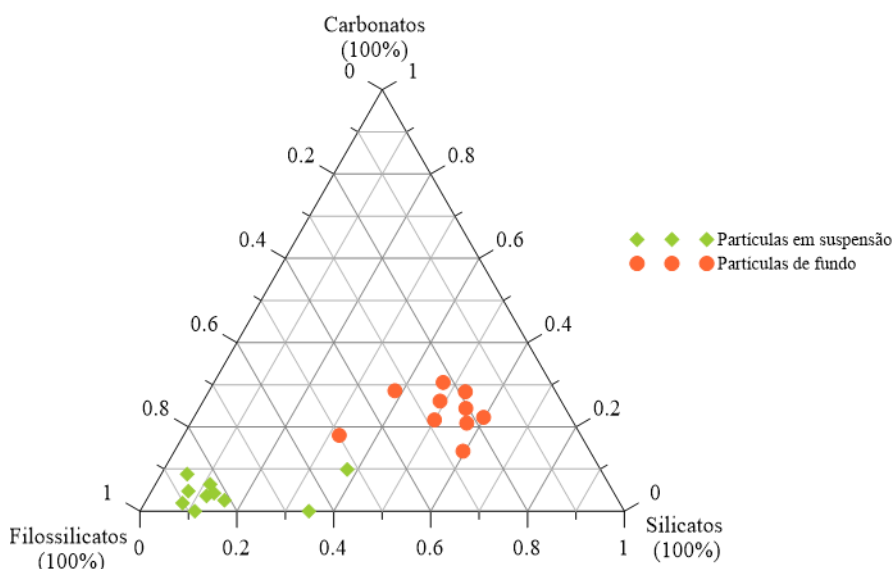
No início da fase de vazante, estação #7, houve um ligeiro aumento da frequência dessa moda, porém foi apenas na estação #8 que se detetou o máximo. Este máximo de frequência da moda acima referida vem reforçar a hipótese de que o material em suspensão não reflete apenas uma ressuspensão local, mas também o transporte de partículas de zonas a montante.

Os sedimentos de fundo e as partículas em suspensão eram constituídas, maioritariamente, por silicatos (Figura 5.6) variando entre amostras a percentagem de filossilicatos (caulinite, ilite e clorite). No caso dos sedimentos de fundo tanto no nível 0-2 cm como 2-4 cm a percentagem de filossilicatos era inferior a 30%, ou seja, estes níveis eram constituídos por minerais granulares com densidade superior aos filossilicatos afundando mais rapidamente (Tabela 4.3 e Tabela 4.6).



**Figura 5.6.** Esquema representativo da composição das partículas de fundo e das partículas em suspensão, face à percentagem média de silicatos e carbonatos, referindo a percentagem dos filossilicatos.

Nas partículas em suspensão cerca de 80% dos silicatos eram filossilicatos que se mantinham mais facilmente em suspensão, com tendência a flocular e a aumentar o seu diâmetro (Trento, 2005) acabando por se depositar (Figura 5.7). Quanto à percentagem de carbonatos, nomeadamente, a calcite era mais abundante nos sedimentos de fundo. Esta calcite era possivelmente de origem biogénica (restos de carapaças de foraminíferos, moluscos e nanoplâncton calcário) e com uma proveniência marinha. No diagrama ternário (Figura 5.7) observa-se a diferença entre a percentagem de filossilicatos e de silicatos entre as partículas em suspensão e as partículas de fundo (nível 0-2 cm) que por sua vez estava relacionada com a maior capacidade de floculação dos filossilicatos.



**Figura 5.7.** Diagrama ternário da variação da percentagem de filossilicatos, silicatos e carbonatos das partículas em suspensão (representada pelos símbolos verdes) e das partículas de fundo (representada pelos símbolos a laranja).

Em suma, os sedimentos de fundo neste local aparentavam ser mistos (Bettencourt *et al.*, 2003) com origem detrítica e biogénica podendo ser promovida a floculação dos sedimentos argilosos em suspensão devido à entrada de massas de água mais salina no estuário. Os sedimentos de origem marinha mobilizados pela ação das ondas oceânicas atingiram o local de amostragem pois o máximo de incursão é detetado na zona de Belém (Oliveira, 1967).

## Capítulo 6

### Conclusões

Os dados obtidos durante a campanha SEDEX 2015 na estação fixa perto da ribeira do Jamor possibilitaram a interpretação da dinâmica do local com base na análise de dados oceanográficos, sedimentológicos e de nanoplâncton calcário e retirar as seguintes conclusões relativamente à coluna de água:

- Confirmou-se a existência de duas associações de nanoplâncton calcário de dois subdomínios distintos, uma do subdomínio oceânico e outro do nerítico. A associação do subdomínio oceânico era composta pelas espécies *G. ericsonii*, *G. muelleriae*, *C. mediterranea*, *E. huxleyi*, cujo máximo de concentração de cocólitos foi detetado no início do estofo da maré. Por outro lado, a associação do subdomínio nerítico era constituída pelas espécies *G. oceanica*, *C. pelagicus* e *H. carteri* que atingiu o máximo de cocólitos no fim do estofo da maré, início da fase de vazante.
- Criou-se uma hipótese com o intuito de explicar os diferentes momentos em que se obteve os valores máximos de concentração de cocólitos uma vez que, as espécies do subdomínio oceânico que se encontravam mais afastadas da linha de costa foram as primeiras a ser detetadas na estação fixa. Esta hipótese não contemplou a espécie *C. leptoporus* porque apresentava um comportamento distinto com o máximo de concentração de cocólitos detetado na fase de vazante. É necessário referir que neste estudo também se analisou a concentração de cocosferas, porém apresentavam menores concentrações e não foram utilizadas nesta hipótese.
- Aplicou-se o modelo (coco)litos vs. (cocos)esferas que mostrou a existência de dois comportamentos distintos: (i) as espécies *H. carteri*, *C. mediterranea*, *G. muelleriae* e *E. huxleyi* que aparentemente estavam em desenvolvimento e mantiveram-se em desenvolvimento, com valores máximos durante o estofo da maré (onde ocorre a mistura das massas de água). A espécie *G. oceanica* perdeu variabilidade ao longo do ciclo de maré (porém estava em *steady state*) contrariamente às restantes o que poderia ser reflexo do transporte das massas de água; (ii) Na espécie *G. ericsonii* encontravam-se representados os três estádios deste modelo, nomeadamente, *bloom*, *steady state* e *decay*, indicando que inicialmente esta estaria em desenvolvimento.
- Verificou-se a existência de duas massas de água com valores de temperatura e salinidade distintas, uma de carácter oceânico detetada na fase de enchente e outra de carácter mais estuarino detetada na fase de vazante.
- Apesar de se ter obtido diversos parâmetros através dos equipamentos RCM9, LISST e ADCP, constatou-se que os valores mais elevados dos parâmetros temperatura, salinidade, turbidez, concentração de partículas, velocidade da corrente, magnitude da corrente, D50 foram detetados durante a fase de vazante, que neste estuário se caracteriza por períodos de vazante mais curtos do que os períodos de enchente.
- Colocou-se a hipótese de se ter detetado partículas em suspensão que estavam a ser transportadas de um local a montante, evidenciado pelo desfasamento entre os valores máximos de concentração de partículas em suspensão e a magnitude da corrente ao longo da coluna de água.
- A relação entre a turbidez (obtida pelo RCM9) e a concentração de partículas (obtida através do LISST) junto ao fundo veio confirmar que a turbidez é um *proxy* das partículas em suspensão. Neste caso apresentavam uma forte correlação expressa pela seguinte equação  $Y = 0,008x + 0,015$ .



- A mineralogia das partículas em suspensão era maioritariamente filossilicatos designadamente Illite e Caulinite. Quanto à floculação das partículas não foi possível apurar a sua existência.

Quanto aos dados obtidos a partir da análise dos sedimentos de fundo foi possível tirar as seguintes relações:

- O conteúdo em nanoplâncton calcário era composto por espécies atuais e fósseis (idade miocénica e cretácica). Predominavam as espécies atuais nomeadamente a *G. oceanica* que por sua vez era a espécie mais abundante presente na coluna de água.
- Os replicados realizados no caso do nanoplâncton calcário permitiram afirmar que não existia uma variação espacial entre os diferentes grupos de amostragem devido à variação dos valores de desvio-padrão. Aparentemente, existia uma variação temporal entre os níveis 0-2 cm e 2 - 4 cm, que era consistente com a variação de concentração de cocólitos/g. Assim sendo, não houve um reflexo direto do ciclo de maré em estudo.
- Não se verificou uma correlação entre a concentração de cocólitos e a percentagem de finos significativa o que indicou que a sua deposição resultou essencialmente de processos ecológicos e, não de processos tafonómicos tanto no nível 0-2 cm e 2-4 cm.
- Do ponto de vista textural as amostras eram constituídas essencialmente por areia e silte. A mineralogia destas partículas detríticas era maioritariamente silicatos, designadamente quartzo, feldspato potássico e plagioclase.
- A percentagem de matéria orgânica oscilou pouco nos níveis 0-2 cm e 2-4 cm quando comparada com a percentagem de carbonato de cálcio que variou acentuadamente no nível 0 - 2 cm. O nível 0-2 cm apresentava evidência de uma maior contribuição marinha dada pela percentagem de carbonato de cálcio face ao nível 2-4 cm. O carbonato de cálcio detetado nas amostras não reflete apenas a quantidade de nanoplâncton calcário, mas também, restos de conchas e carapaças carbonatadas confirmado pelos valores de correlação obtidos entre concentração de cocólitos e % carbonato de cálcio.
- Nos níveis 0-2 cm e 2-4 cm existiam amostras que se encontravam homogeneizadas devido à bioturbação e outras amostras que apresentavam estratificação. Esta diferença entre amostras coincidiu com os dois grupos distintos de amostragem sugerindo inicialmente uma variação espacial. Tendo em conta as taxas de sedimentação consideradas verificou-se que os 4 cm (dois níveis) correspondiam a 2/6 anos de sedimentação corroborando o facto de existir uma variação temporal entre o nível 0-2 cm e 2-4 cm que nas amostras se encontrava encoberta pela atividade biológica (bioturbação).
- Ao comparar-se as partículas em suspensão junto ao fundo e as partículas do nível 0-2 cm verificou-se que predominam em ambas as areias finas. Durante a fase de enchente estas areias encontram-se em suspensão depositando-se aparentemente no estofo da maré. Na fase de vazante há um aumento da frequência da curva granulométrica acentuando a hipótese de se ter detetado um transporte de partículas em suspensão de um local a montante (conforme foi referido acima).

Por último, este estudo permitiu confirmar que esta zona do estuário é bastante complexa e influenciada por fatores como o nanoplâncton calcário e sedimentologia na coluna de água que posteriormente se reflete nos sedimentos de fundo. Porém, neste caso, não se observou um efeito direto do ciclo de maré nos sedimentos de fundo suportando a hipótese que aquilo que se observou nos sedimentos de fundo reflete a atuação de vários ciclos de maré. Estes sedimentos de fundo são mistos com uma componente biogénica e detrítica e com uma maior ou menor contribuição marinha.

## Trabalhos futuros

Para estudos futuros sugere-se a realização de uma campanha num transecto do estuário que apanhe a região central do canal com várias estações durante dois ciclos de maré consecutivos e se possível uma no inverno e outra no verão, de forma a identificar as comunidades de nanoplâncton calcário e a maior ou menor contribuição do rio Tejo.

Seria interessante analisar a morfometria da espécie *C. leptoporus* para entender se é essa a razão da mesma apresentar um comportamento anómalo dentro do estuário do Tejo. Nesta campanha era relevante colher amostras de água em três níveis coincidentes com os níveis onde o LISST efetua as medições possibilitando uma análise e correlação entre parâmetros mais detalhada. Se possível, ter uma câmara acoplada a um dos aparelhos de forma a fotografar as partículas em suspensão e averiguar se as partículas se encontram floculadas de forma indireta.

Quanto aos sedimentos de fundo seria interessante realizar várias dragagens ao longo do transecto e analisar as diferenças quer do ponto de vista textural quer composicional, nomeadamente, na zona de maior intensidade de corrente (canal central) e nas zonas designadas “sombra”.

## Bibliografia

- Amore, F.O.; Flores, J.A.; Voelker, A.H.L.; Lebreiro, S.M.; Palumbo, E.; Sierro, F.J. (2012). A Middle Pleistocene Northeast Atlantic coccolithophore record: Paleoclimatology and paleoproductivity aspects. *Marine Micropaleontology*, 90-91, 44-59.
- Bettencourt AM, L Ramos (eds). Estuários Portugueses, Plano Nacional da Água, Direcção dos Serviços de Planeamento, Instituto da Água, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa, Março de 2003.
- Boeckel, B. & Baumann, K. H. (2004). Distribution of coccoliths in surface sediments of the south-eastern South Atlantic Ocean: ecology, preservation and carbonate contribution, *Marine Micropaleontology*, 51, 301-320.
- Bown, P., Lees, J.A., Young, J.R. (2004). Calcareous nannoplankton evolution and diversity through time. Thierstein, H.R., Young, J.R., eds., *Coccolithophores – From molecular processes to global impact*. SpringerVerlag, Berlin, 481–508.
- Brand, L.E. (1994). Physiological ecology of marine coccolithophores. In: A. Winter, W. Siesser (Eds). *Coccolithophores*. Cambridge University Press, Cambridge, 39-149.
- Cachão, M. & Oliveira, A. (2000). (Cocco)liths versus (Cocco)spheres: approaching the ecological performance of coccolithophores. *Journal of Nannoplankton research*, 22 (1), 29-34.
- Cachão, M.& Moita, T. (2000). *Coccolithus pelagicus*, a productivity proxy related to moderate fronts off Western Iberia. *Marine Micropaleontology*, 39 (1/4), 131-155.
- Drozdowski, A.& Greenan, B.J.W (2013). An intercomparison of Acoustic current Meter measurements in low to moderate flow regions. *Journal of Atmospheric and oceanic technology*, 30, 1924-1939.
- Fernandes, R. (2005). Modelação operacional no estuário do Tejo. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ecologia, Gestão e Modelação dos Recursos Marinhos. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Flemming, B. W. (2000). A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. *Continental Shelf Research*, 20, 1125-1137.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957). Brazos River bars: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 (1) 3-26.
- Freire, P (1999). Evolução Morfo-sedimentar de margens estuarinas (Estuário do Tejo, Portugal). Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Gameiro, C. (2009). Fitoplâncton do Estuário do Tejo (Portugal) – Dinâmica Sazonal, Interanual e produção primária. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Gartner, J.W.; Cheng, R.; Wang, P-F.; Richter, K. (2001). Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations. *Marine Geology*, 175, 199-219.
- Graham, L. & Wilcox, L.; (2000). *Algae*. Prentice-Hall. 640.
- Guerreiro, C.; Rosa, F.; Oliveira, A.; Cachão, M.; Fatela, F.; Rodrigues, A. (2009): Calcareous nannoplankton and benthic foraminiferal assemblages from the Nazaré Canyon (Portuguese continental margin): preliminar results. From Deep-sea to Coastal Zones: Methods and Techniques for Studying Paleoenvironments: IOP Conf.Series: Earth and Environmental Science, 5, 1-11.

- Hagino, K.; Takano, Y.; Horiguchi, T. (2009). Pseudo-cryptic speciation in *Braarudosphaera bigelowii* (Gran and Braarud) Deflandre. *Marine Micropaleontology*, 72, 210-221.
- Hidalgo, E. C., Flores, J. A., Sierro, F. J. (2002). Biometry of *Emiliania huxleyi* and its biostratigraphic significance in the Eastern North Atlantic Ocean and Western Mediterranean Sea in the last 20 00 years, *Marine Micropaleontology*, 46, 247-263.
- Honjo, S. (1976). Coccoliths: Production, transportation and sedimentation. *Marine Micropaleontology*, 1, 65-79.
- Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação (2005). Folha 34-D Lisboa. Escala 1: 50 000 Lisboa.
- Jordan, R. W., Cros, L., Young, J. R. (2004). A revised classification scheme for living haptophytes, *Micropaleontology*, 50, 55-79.
- Kitheka, J.U.; Obiero, M.; Nthenge, P. (2005). River discharge, sediment transport and exchange in the Tana Estuary, Kenya. *Estuarine, Coastal and shelf science*, 63, 455-468.
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2010). Folha 34-B Loures, escala 1:50 000.
- Marreco, S. (2008). Paleoceanografia do Estádio Isotópico Marinho 11 com base em Nanofósseis Calcários. Caso de estudo ao largo da Ibéria (MD01-2443). Mestrado em Biologia e Gestão de Recursos Marinhos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Mateus, A. (2015). Estudo Micropaleontológico e Magnético de uma sondagem do Quaternário do Atlântico Norte (EMEPC. Sondagem CO3; Lat. 30,2N; Long. 28,6W). Tese de Mestrado em Ciências do Mar, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Moita, M.T.; Silva, A.; Palma, S.; Vilarinho, M.G. (2010). The coccolithophore summer-autumn assemblage in the upwelling waters of Portugal: Patterns of mesoscale distribution (1985-2005). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 411-419.
- Monteiro, F. (2009). Caracterização sazonal das fácies entre marés de sapais dos estuários dos rios Sado e Tejo com base no estudo da microfauna de ostracodos. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Moreira, S. (2015). Contributo da Geoquímica e Sedimentologia na caracterização de influências Antropogénicas em Ambientes Estuarinos. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Neves, F. (2010). Dynamics and Hydrology of the Tagus estuary: Results *in situ* observations. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Oliveira, A.; Moreira, S.; Lapa, N.; Santos, A.I.; Santos, R.; Pombo, J.; Duarte, J. (2016). Parâmetros geofísicos dos sedimentos superficiais da desembocadura do rio Tejo. 4<sup>as</sup> *Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Instituto Hidrográfico, Lisboa 21-23 junho, 2016, 313-316.
- Oliveira, R. (1967). Contribuição para o estuário do Tejo. Sedimentologia. Memória LNEC nº296. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 61.
- Parente, A.; Cachão, M.; Baumann, K.-H., de Abrey, L., Ferreira, J. (2004). Morphometry of *Coccolithus pelagicus* s.l. (Coccolithophore, Haptophyta) from offshore Portugal, during the last 200 kyr. *Micropaleontology*, 50 (1), 107-120.
- Serviços Geológicos de Portugal (1952). Folha 31-A Santarém. Escala 1:50 000.
- Silva, T. (2013). Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Silva, A.; Palma, S.; Moita, M.T (2008). Coccolithophores in the upwelling waters of Portugal: Four years of weekly distribution in Lisbon bay. *Continental Shelf Research*, 28, 230-238.

- Silva, A., Palma, S., Oliveira, P. B., Moita, M. T. (2009). *Calcidiscus quadriperforatus* and *Calcidiscus leptoporus* as oceanographic tracers in Lisbon Bay (Portugal), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81, 333-344.
- Taborda, R., Freire, P., Silva, A., (2009). Origin and evolution of Tagus estuarine beaches. *Journal of Coastal Research*, 56, 213–217.
- Toublanc, F.; Brenon, I.; Coulombier, T.; Le Moine, O. (2013). Salinity suspended sediment Dynamics in response to forcing changes in a small macrotidal estuary (Charente, France). *Coastal Dynamics* 2013, 1707-1718.
- Trask, D. (1932). Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum. Publishing Co., Houston, Texas. 323.
- Traykovski, P.; Latter, R.J.; Irish, J.D. (1999). A laboratory evaluation of the çaser in situ scattering and transmissometry instrument using natural sediments. *Marine Geology*, 159, 355-367.
- Trento, A. (2005). Dinâmica da Floculação no transporte de sedimentos finos. Tese para obtenção de grau de doutor em Ciências em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Vale, C. & Sundby, B. (1987). Suspended Sediment Fluctuations in the Tagus Estuary on Semi-diurnal and Fortnightly Time Scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 25, 495-508.
- Vale, C. (1990). Temporal variations of particulate metals in the Tagus river estuary. *The Science of the Total Environment*, 97/98, 137-154.
- Williams, N.D; Walling, D.E.; Leeks, G.J.L. (2007). High temporal in situ measurement of the effective particle size characteristics of fluvial suspended sediment. *Water research* 41, 1081-1093.
- Young, J.; Geisen, M.; Cros, L.; Kleijne, A.; Probert, I.; Østegarrd, J. (2003). A guide to extant coccolithophore taxonomy. *Journal of Nannoplankton research special issue* 1, 125.
- Young, J.R; Berger, J.A; Bown, P.R; Burnett, J.A; Fiorentino, A; Jordan, R.W; Kleijne, A.; Van Niel, B; Romein, A.J.T. and Von Salis, K. (1997). Guidelines for coccolith and calcareous nannofossil terminology. *Paleontology*, 40 (4), 875-892.
- Young, J.R. & Thierstein, H.R. (2004). Coccolithophores – From Molecular processes to global impact. Springer. 565.
- Santos, A.I.; Oliveira, A.; Moreira, S. (2016). Cross-calibration of suspended sediment sensors and samples at a fixed station in the Tejo estuary (SEDEX 2015). 4<sup>as</sup> *Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Instituto Hidrográfico, Lisboa 21-23 junho, 2016, 233-236.
- Siesser, W. G., Winter, A. (1994). Composition and morphology of coccolithophores skeletons, 51-62, in Winter, A., Siesser, W. G., Coccolithophores, Cambridge University Press, 242.

**MARETEC:** <http://www.maretec.mohid.com/Estuarios/Inicio/ExemploTejo/ExemploTejo.htm> (consultado no dia 8 de junho 2017)

**Nannotax3:** <http://www.mikrotax.org/Nannotax3/index.php?dir=Coccolithophores> (consultado no dia 20 de julho 2017)

**SNIRH:** <http://snirh.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.2>. (consultado no dia 19 de setembro 2017 )

## Anexos

### Anexo A. Sistemática

A sistemática aqui representada está de acordo com a divisão taxonómica apresentada por Jordan *et al.*, (2004).

**Reino CHROMISTA** Cavalier-Smith, 1986

**Divisão HAPTOPHYTA** Hibberd, 1972

**Classe PRYMNESIOPHYCEAE** Hibbert, 1976 emend. Cavalier-Smith *et al.*, 1996

**Ordem COCCOLITHALES** Swartz, 1932 emend. Edvardsen *et al.*, 2000

Família CALCIDISCACEAE Young and Bown, 1997

Género *Calcidiscus* Kamptner, 1950

*Calcidiscus leptoporus* (Murray & Blackman, 1898) Loeblich & Tappan, 1978

Género *Umbilicosphaera* Lohmann, 1902

*Umbilicosphaera sibogae* (Weben-van Bosse, 1901) Gaarder, 1970

Família COCCOLITHACEAE Poche, 1913 emend. Young & Bown, 1997

Género *Coccolithus* Schawrtz, 1894

*Coccolithus pelagicus* (Wallich, 1877) Schiller, 1930

**Ordem ZYGODISCALES** Young & Brown, 1997

Família HELICOSPHAERACEAE Black, 1971

Género *Helicosphaera* Kamptner, 1954

*Helicosphaera carteri* (Wallich, 1877) Kamptner, 1954

Família PONTOSPHAERACEAE Lemmermann, 1908

Género *Pontosphaera* Lohmann, 1902

*Pontosphaera* s.p.

Família SYRACOSPHAERACEAE Lohmann, 1902

Género *Coronosphaera* Gaarder, in Gaarder & Heimdal, 1977

*Coronosphaera mediterranea* (Lohmann, 1902) Gaarder, in Gaarder & Heimdal, 1977

**Ordem ISOCRYSIDALES** Pascher, 1910

Família NOELAERHADACEAE Jerkovic, 1970 emend. Young & Bown, 1997

Género *Emiliana* Hay & Mohler, in Hay *et al.*, 1967

*Emiliana huxleyi* (Lohmann, 1902) Hay & Mohler, in Hay *et al.*, 1967

Género *Gephyrocapsa* Kamptner, 1943

*Gephyrocapsa ericsonii* McIntyre & Bé, 1967

*Gephyrocapsa muelleriae* Bréhéret, 1978

*Gephyrocapsa oceanica* Kamptner, 1943

Família UMBELLOSPHAERACEAE Young and Kleijne in Young *et al.* 2003

Género *Umbellosphaera* Paasche, in Markali & Paasche, 1955

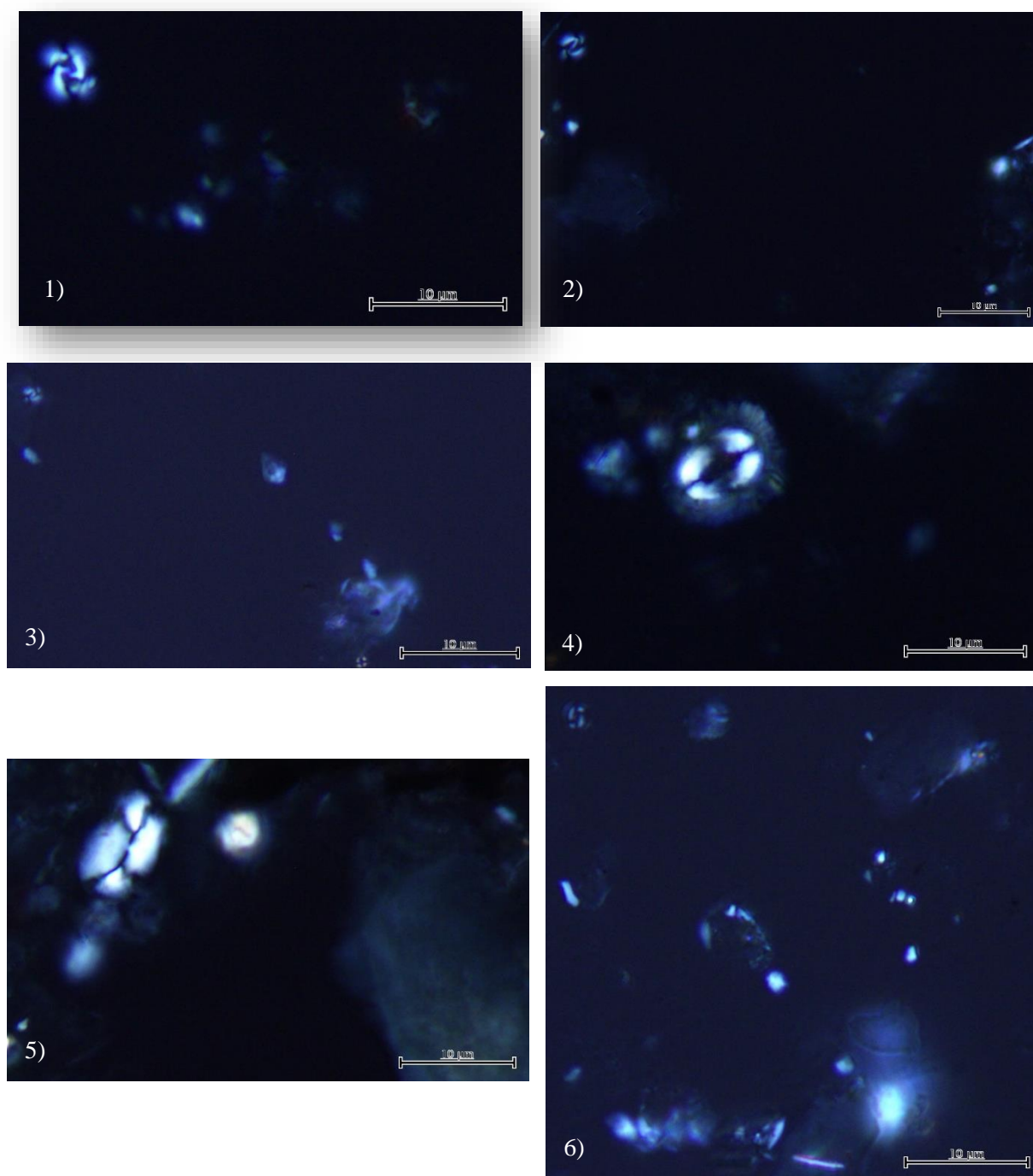
*Umbellosphaera tenuis* (Kamptner, 1937) Paasche, in Markali & Paasche, 1955

Família BRAARUDOSPHAERACEAE Deflandre 1947

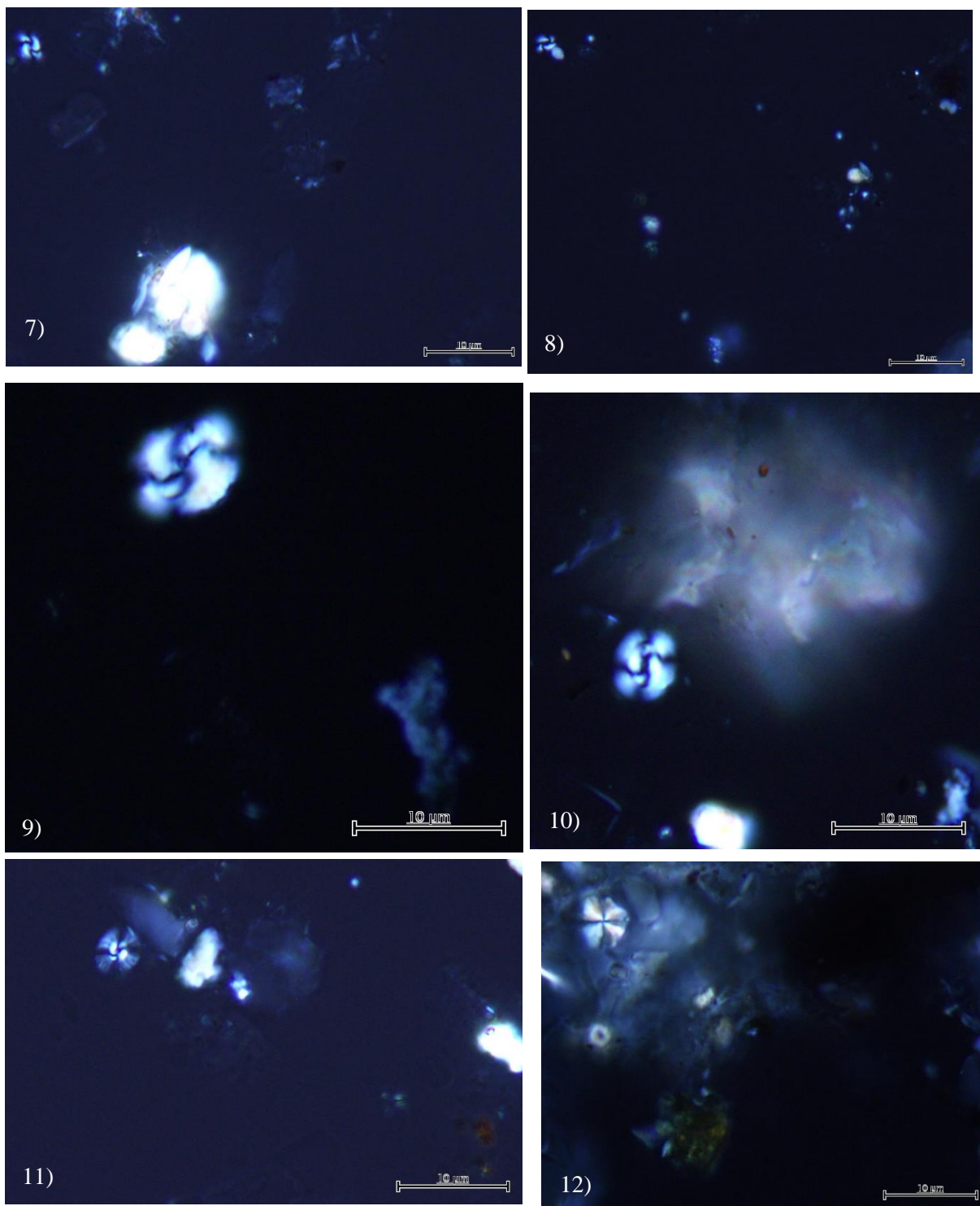
Género *Braarudosphaera* Deflandre 1947

*Braarudosphaera bigelowii* (Gran and Braarud 1935)

## Anexo B. Estampas das espécies de nanoplâncton calcário

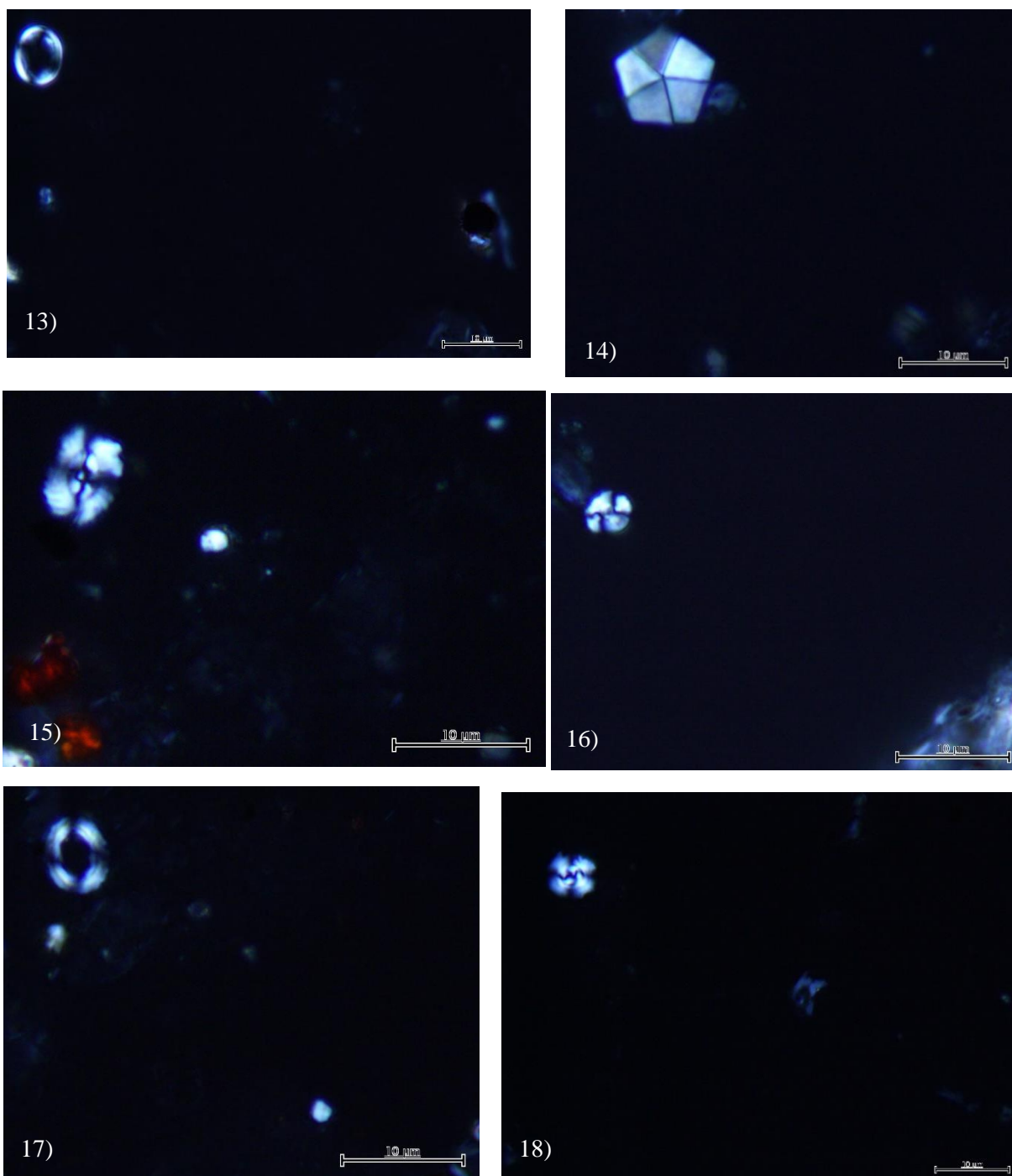


**Figura A.1.** 1- *Gephyrocapsa oceanica* (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água), 2- *Gephyrocapsa muelleri* (identificada tanto nos sedimentos de fundo como nos filtros da coluna de água), 3- *Gephyrocapsa ericsonii* (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água), 4- *Coccolithus pelagicus* (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água); 5- *Helicosphaera carteri* (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água), 6 -*Emiliania huxleyi* (observada nos sedimentos de fundo e nos filtros da coluna de água).

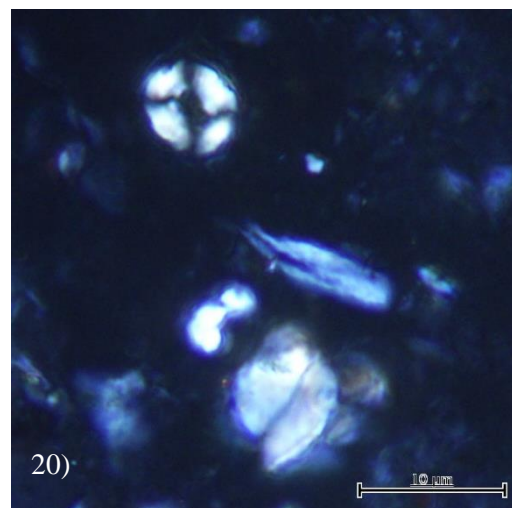
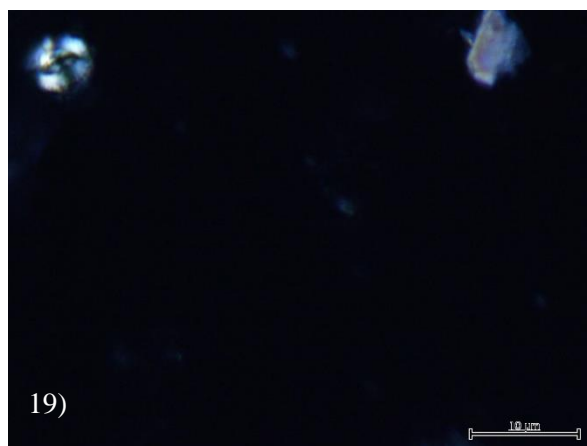


**Figura A.2.** 7– *Reticulofenestra productus* (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 8 – *Reticulofenestra minuta* (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 9- *Reticulofenestra antarcticus* (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 10- *Reticulofenestra haqii-minutula* (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 11 – *Umbilicosphaera tenuis* (identificada apenas nos sedimentos), 12 – *Sphenolithus sp.*





**Figura A.3.** 13 – *Pontosphaera* sp. (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 14 – *Braarudosphaera bigelowii* (identificada apenas nos sedimentos de fundo), 15- *Watznaueria barnesiae* (observada apenas nos sedimentos de fundo), 16 – *Watznaueria biporta* (identificada nos sedimentos), 17 – *Luxolithus* sp. (identificada nos sedimentos), 18 - *Ciclicargolithus floridanus* (identificada apenas nos sedimentos).



**Figura A.4.** 19 - *Watznaueria fossacincta* (identificada apenas nos sedimentos), 20 - *Watznaueria ovata* (identificada apenas nos sedimentos).

## **Anexo C. Variação dos diferentes níveis que constituem a camada dos 0-4 cm**

**Tabela A.1.** Variação precisa em centímetros entre os níveis analisados, tanto dos 0-2 cm como no 2-4 cm.

Amostras	Nível 0-2 cm	Nível 2-4 cm
#2	0-2	2-4,5
#3	0-2	2-4
#4	0-2	2-4
#5	0-2	2-4
#6	0-2,5	2,5-5
#7	0-2	2-4
#8	0-2	2-5,1
#9	0-2	2-4
#10	0-2	2-4
#11	0-2	2-4,5

## Anexo D. Caudal médio

**Tabela A.2.** Valores do caudal médio calculado para os meses de novembro desde 1990 até 2016.

Ano	Média do caudal (m <sup>3</sup> /s)
1990	472,54
1991	181,34
1992	36,60
1993	884,51
1994	223,94
1995	87,68
1996	191,03
1997	1817,58
1998	98,91
1999	419,61
2000	172,47
2001	109,60
2002	205,76
2003	498,86
2004	195,87
2005	381,41
2006	1443,73
2007	140,01
2008	39,22
2009	46,62
2010	138,48
2011	291,99
2012	252,91
2013	103,79
2014	28,94
2015	84,19
2016	85,17

## Anexo E. Tabela de marés

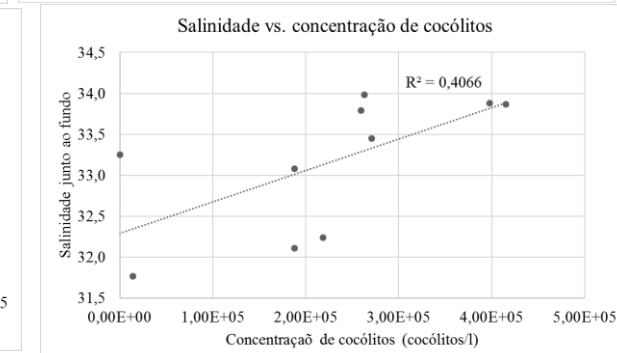
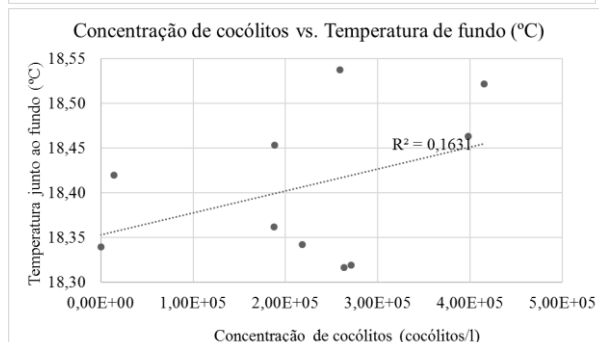
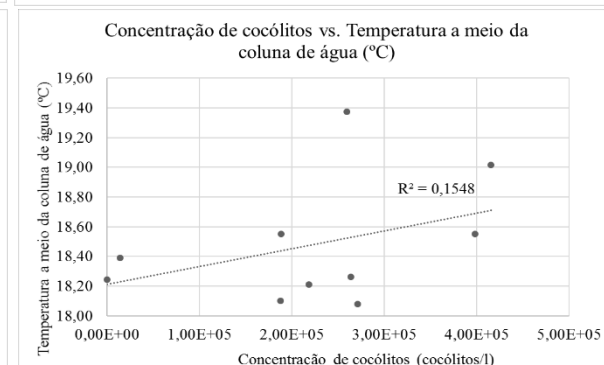
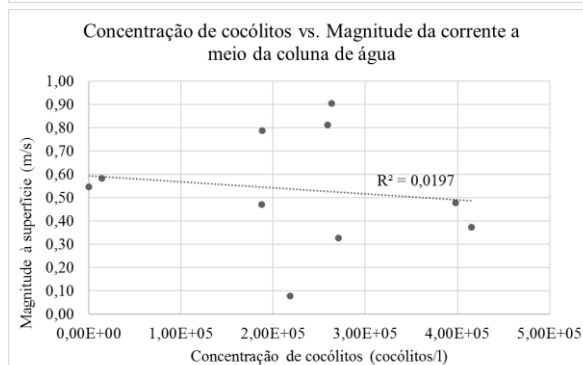
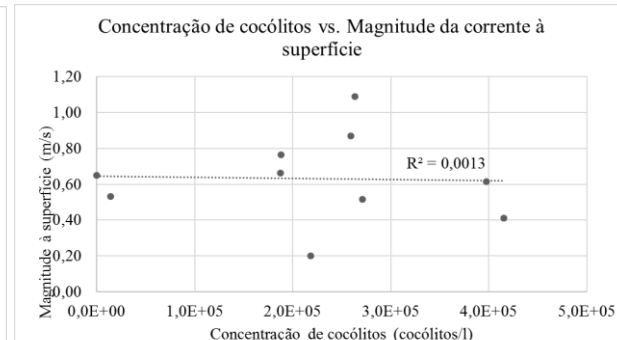
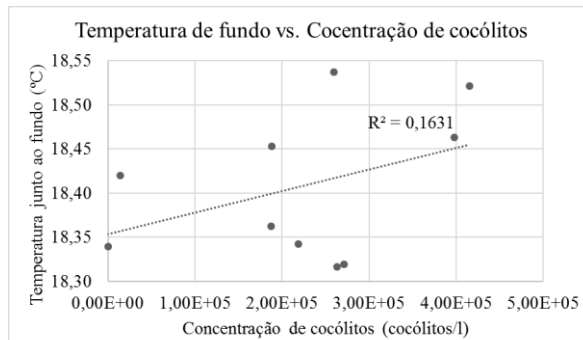
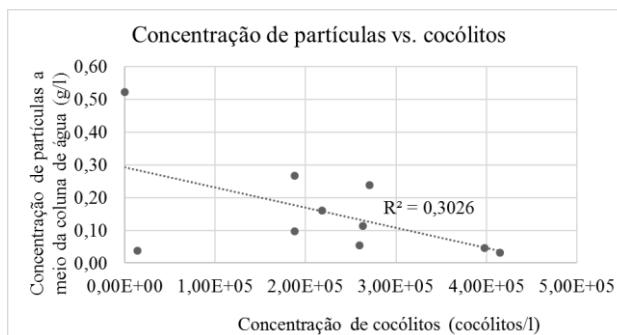
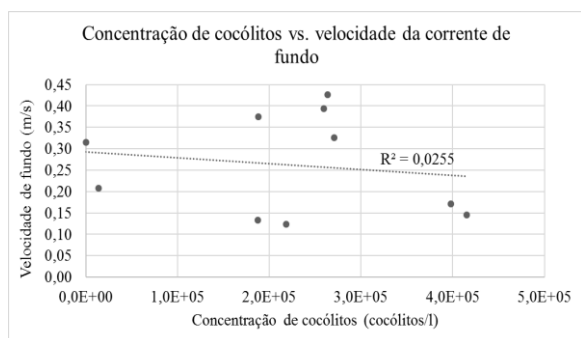
**Tabela A.3.** Variação da amplitude de maré no dia da amostragem registadas no porto de Lisboa do Instituto Hidrográfico.

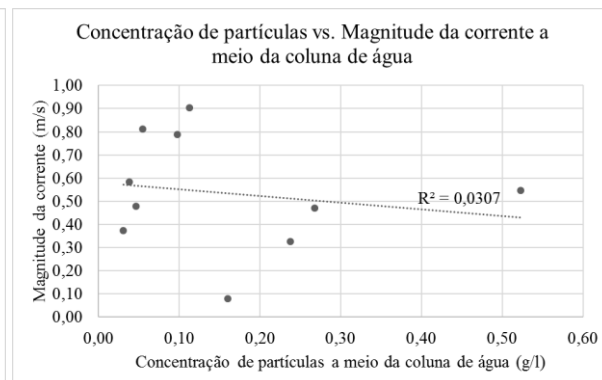
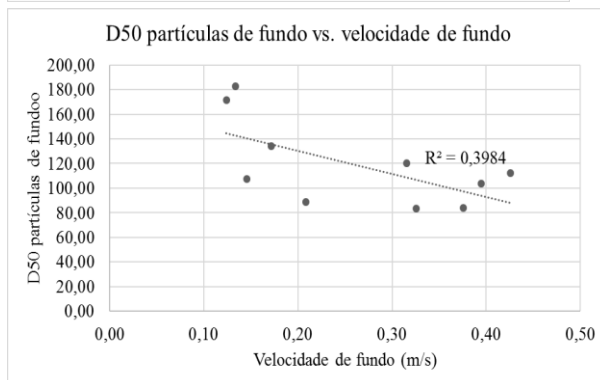
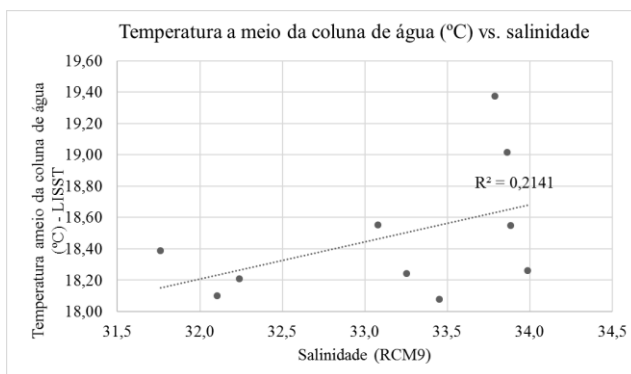
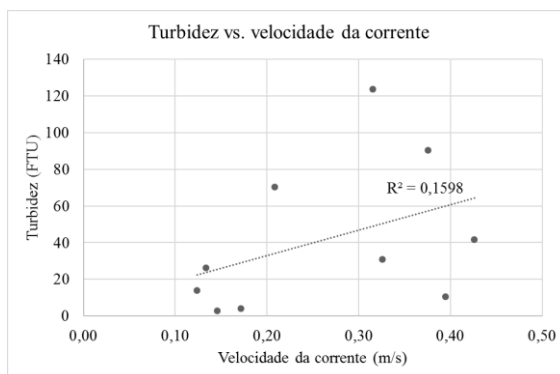
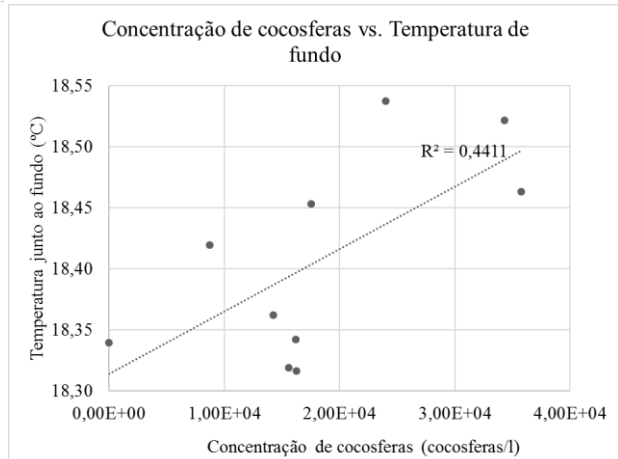
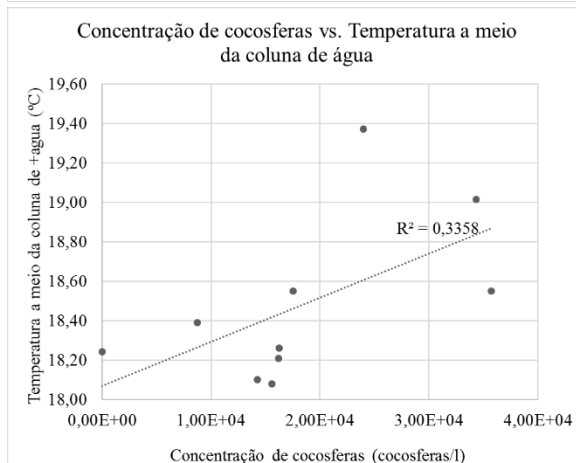
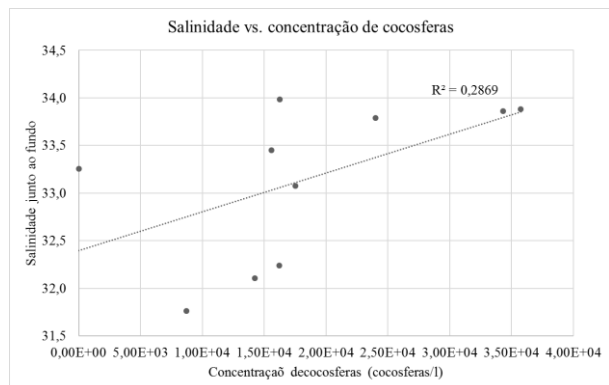
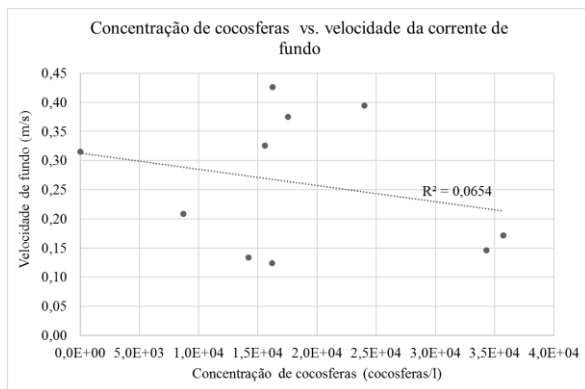
		
Data: <b>2015-11-12</b>	Porto: <b>Lisboa</b>	
Hora Legal de <b>Inverno</b> (UTC)		
Qua, 2015-11-11 20:48	Altura(m)	Baixa-mar
Qui, 2015-11-12 03:16	3.76	Preia-mar
Qui, 2015-11-12 09:05	0.82	Baixa-mar
Qui, 2015-11-12 15:33	3.69	Preia-mar
Qui, 2015-11-12 21:20	0.81	Baixa-mar
Sex, 2015-11-13 03:50	3.77	Preia-mar
Sex, 2015-11-13 09:39	0.81	Baixa-mar
Sex, 2015-11-13 16:08	3.64	Preia-mar
Sex, 2015-11-13 21:52	0.84	Baixa-mar
Sab, 2015-11-14 04:25	3.74	Preia-mar
Sab, 2015-11-14 10:14	0.84	Baixa-mar
Sab, 2015-11-14 16:45	3.57	Preia-mar
Sab, 2015-11-14 22:26	0.91	Baixa-mar
Dom, 2015-11-15 05:02	3.68	Preia-mar
Dom, 2015-11-15 10:51	0.90	Baixa-mar
Dom, 2015-11-15 17:24	3.47	Preia-mar
Dom, 2015-11-15 23:04	1.00	Baixa-mar
Seg, 2015-11-16 05:42	3.59	Preia-mar
Data no Servidor de Dados: 2017-07-17 18:27 +0100		

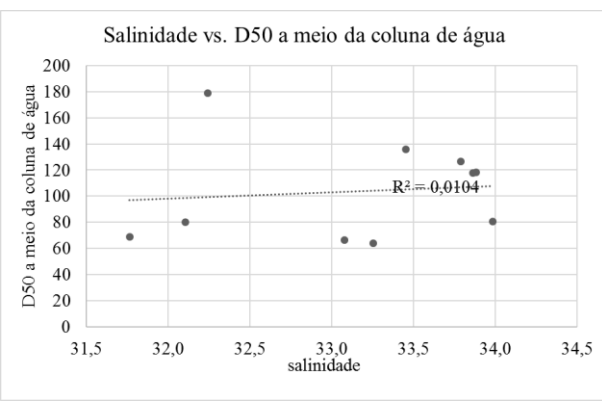
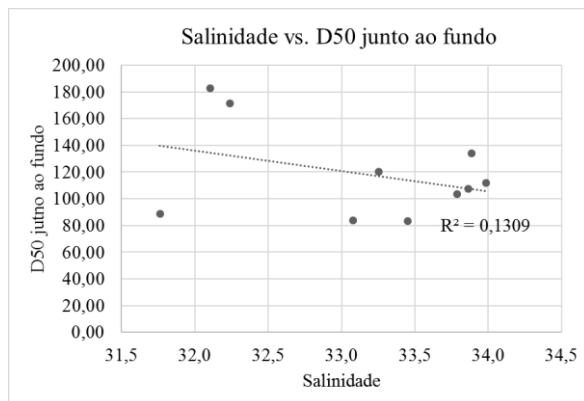
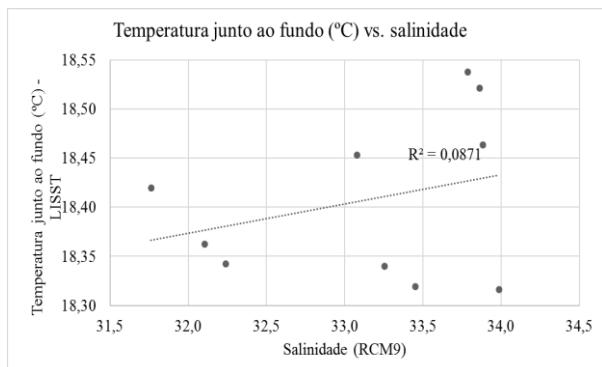
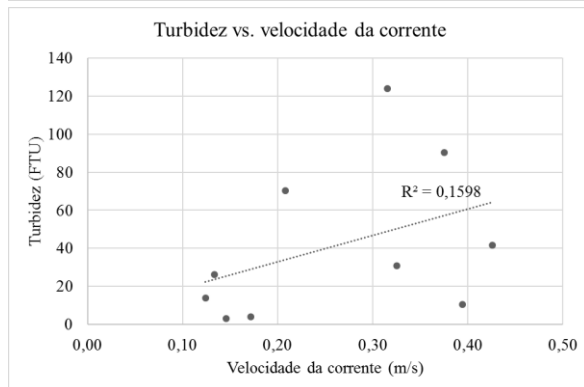
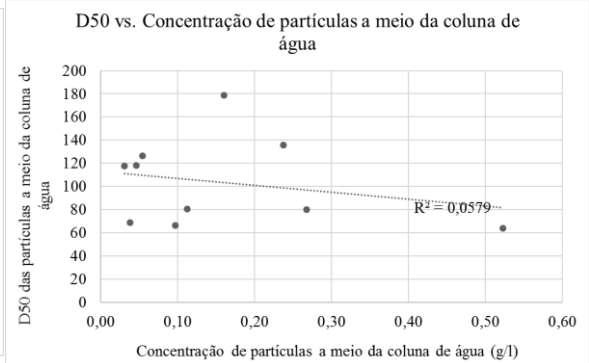
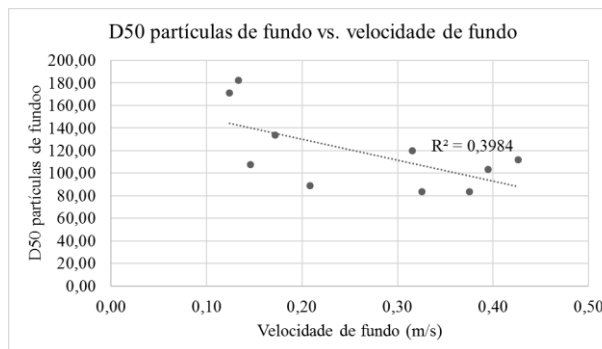
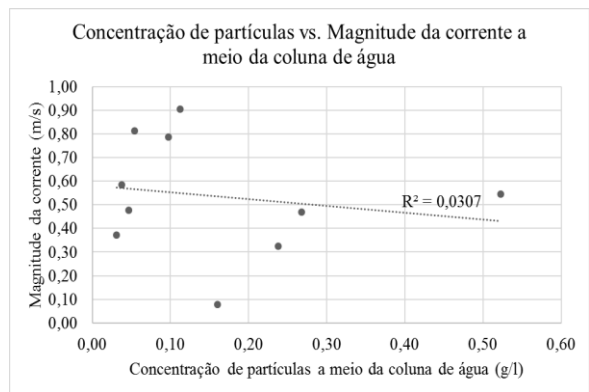
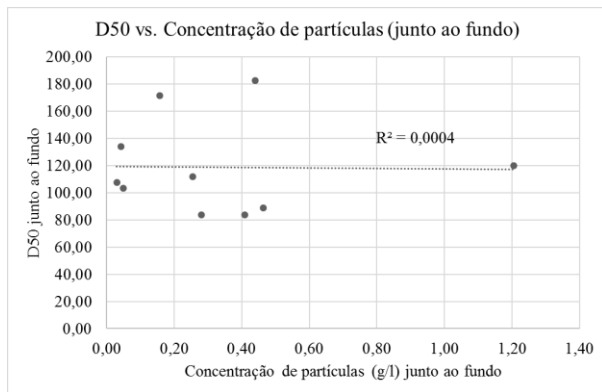
**Tabela A.4.** Variação da amplitude de maré no dia de amostragem no porto de Cascais, do Instituto Hidrográfico.

		
Data: <b>2015-11-12</b>	Porto: <b>Cascais</b>	
Hora Legal de <b>Inverno</b> (UTC)		
Qua, 2015-11-11 20:14	Altura(m)	Baixa-mar
Qui, 2015-11-12 02:27	3.35	Preia-mar
Qui, 2015-11-12 08:33	0.85	Baixa-mar
Qui, 2015-11-12 14:44	3.26	Preia-mar
Qui, 2015-11-12 20:45	0.84	Baixa-mar
Sex, 2015-11-13 02:59	3.37	Preia-mar
Sex, 2015-11-13 09:06	0.84	Baixa-mar
Sex, 2015-11-13 15:17	3.24	Preia-mar
Sex, 2015-11-13 21:17	0.87	Baixa-mar
Sab, 2015-11-14 03:33	3.36	Preia-mar
Sab, 2015-11-14 09:41	0.87	Baixa-mar
Sab, 2015-11-14 15:53	3.18	Preia-mar
Sab, 2015-11-14 21:52	0.93	Baixa-mar
Dom, 2015-11-15 04:10	3.31	Preia-mar
Dom, 2015-11-15 10:20	0.93	Baixa-mar
Dom, 2015-11-15 16:33	3.09	Preia-mar
Dom, 2015-11-15 22:31	1.03	Baixa-mar
Seg, 2015-11-16 04:52	3.22	Preia-mar
Data no Servidor de Dados: 2017-07-17 18:29 +0100		

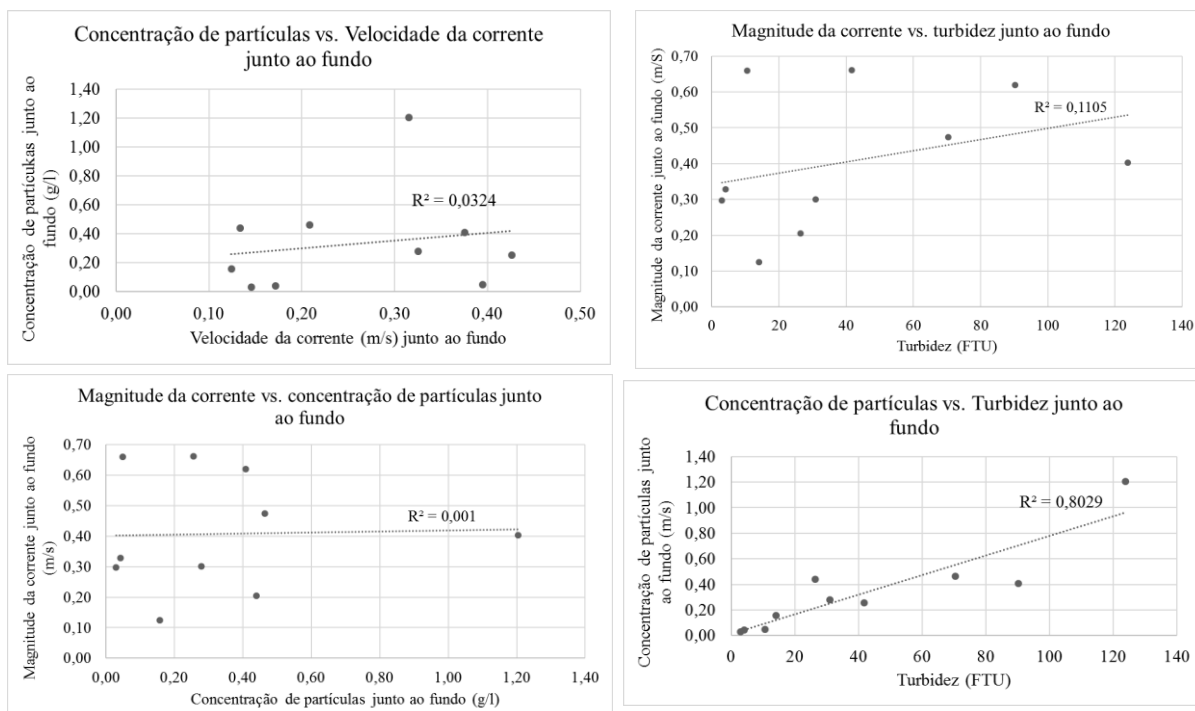
## Anexo F. Gráficos de correlação entre nanoplâncton calcário e os parâmetros físicos da coluna de água





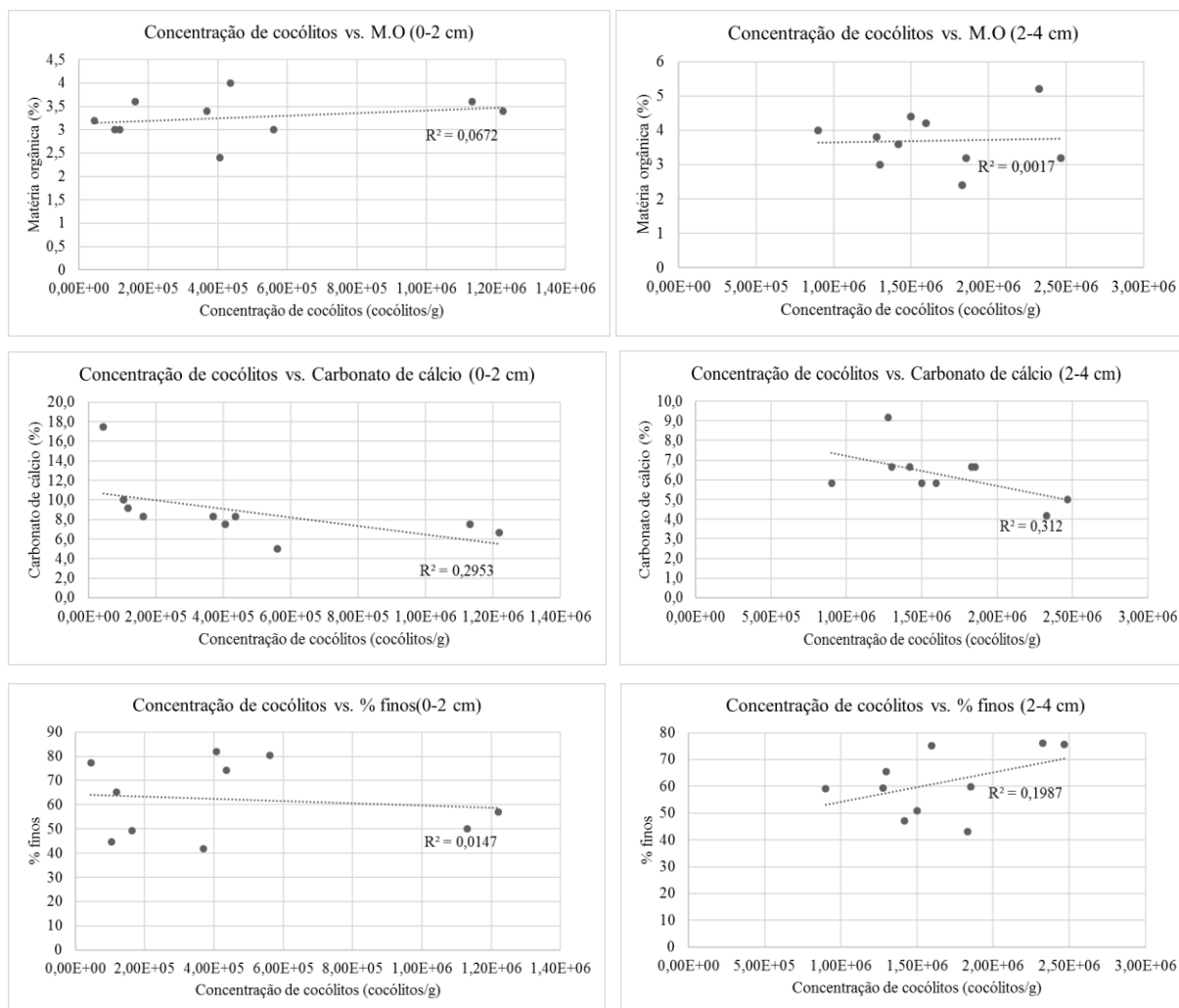






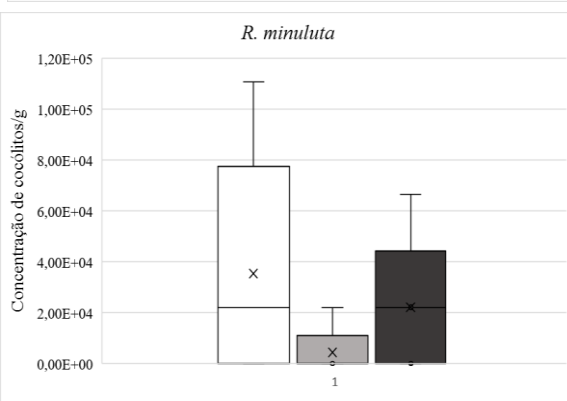
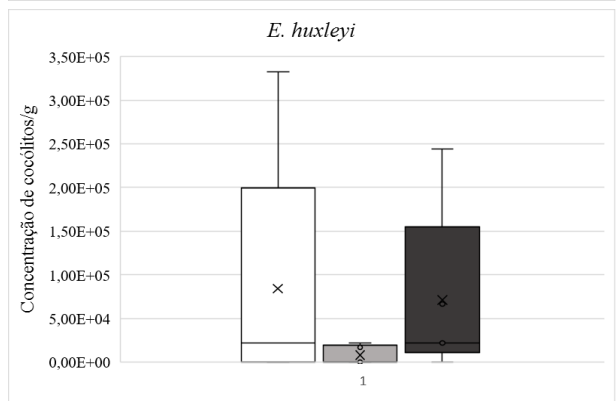
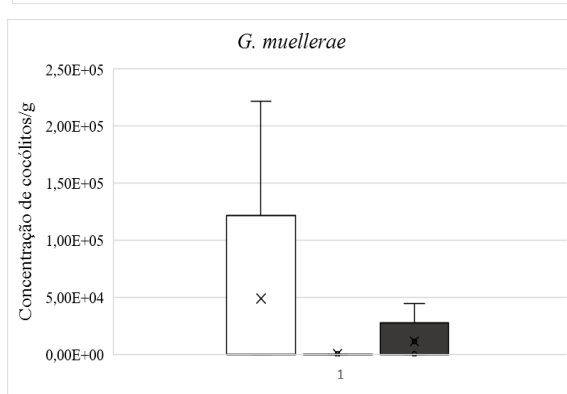
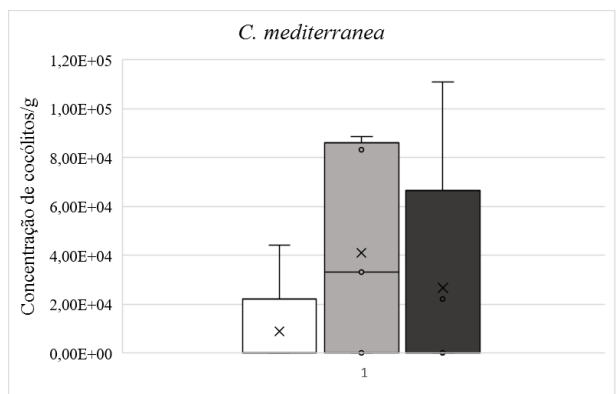
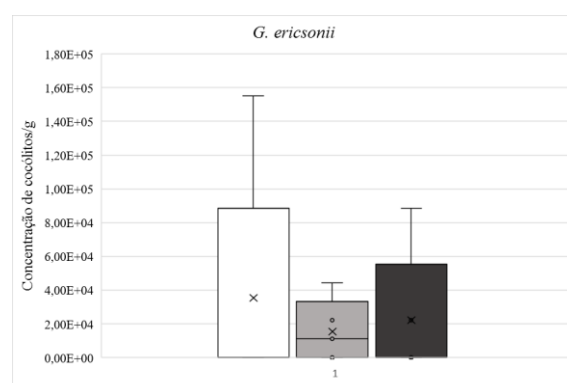
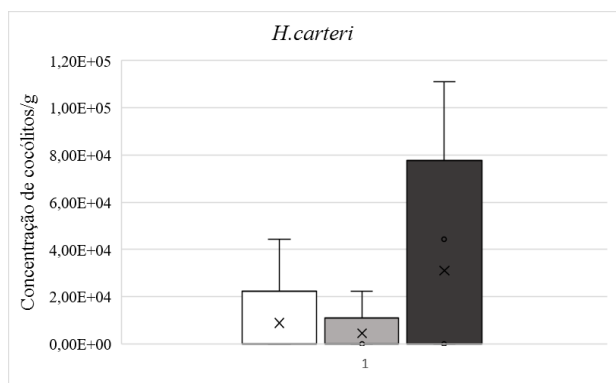
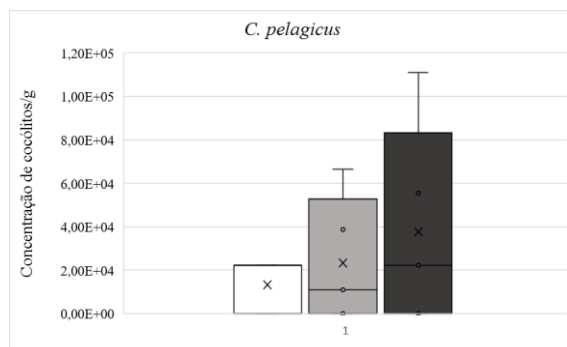
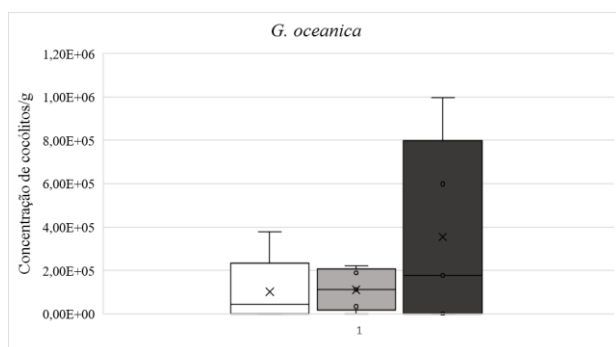
**Figura A.5.** Gráficos de correlação da componente do nanoplâncton calcário detetado na coluna de água e diversos parâmetros físicos da coluna de água.

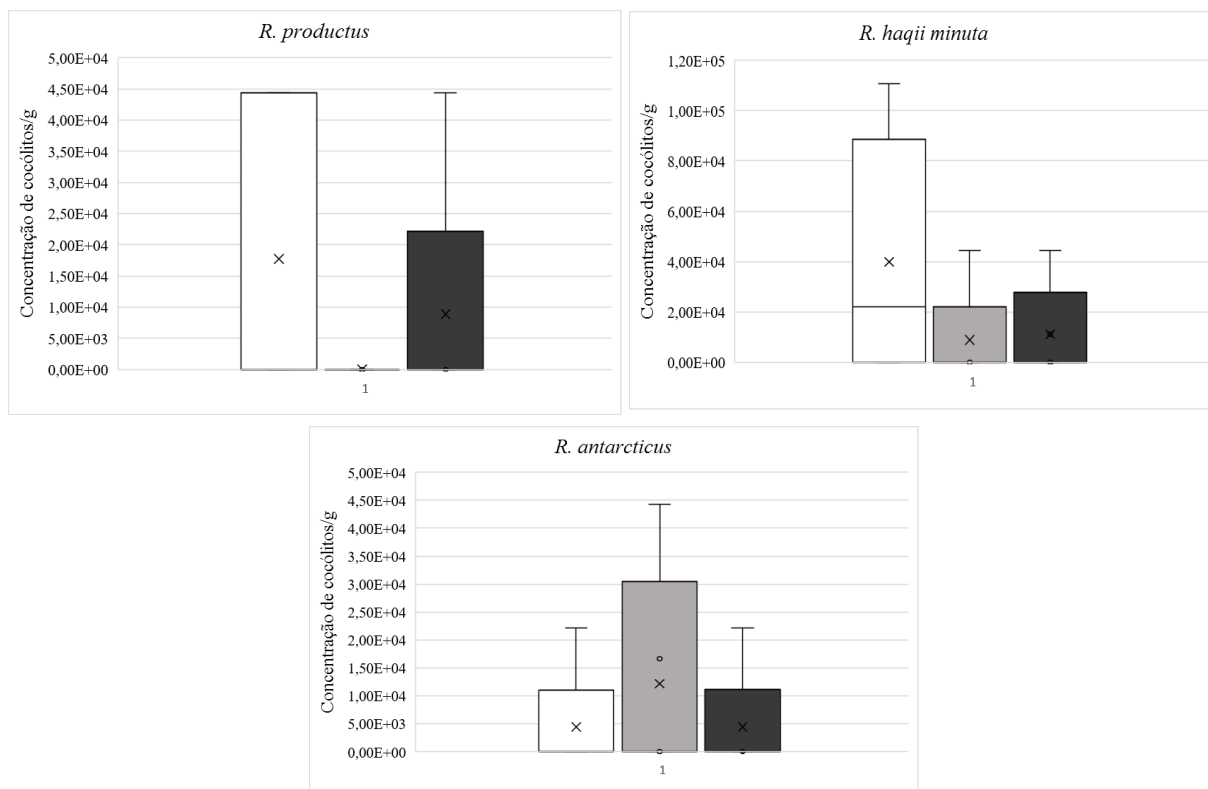
## Anexo G. Gráficos de correlação entre os sedimentos de fundo e o nanoplâncton calcárioo



**Figura A.6.** Gráficos de correlação da componente do nanoplâncton calcárioo detetado nos sedimentos e os parâmetros de sedimentologia, nomeadamente a percentagem de matéria orgânica, de carbonato de cálcio e, por fim, a percentagem de finos.

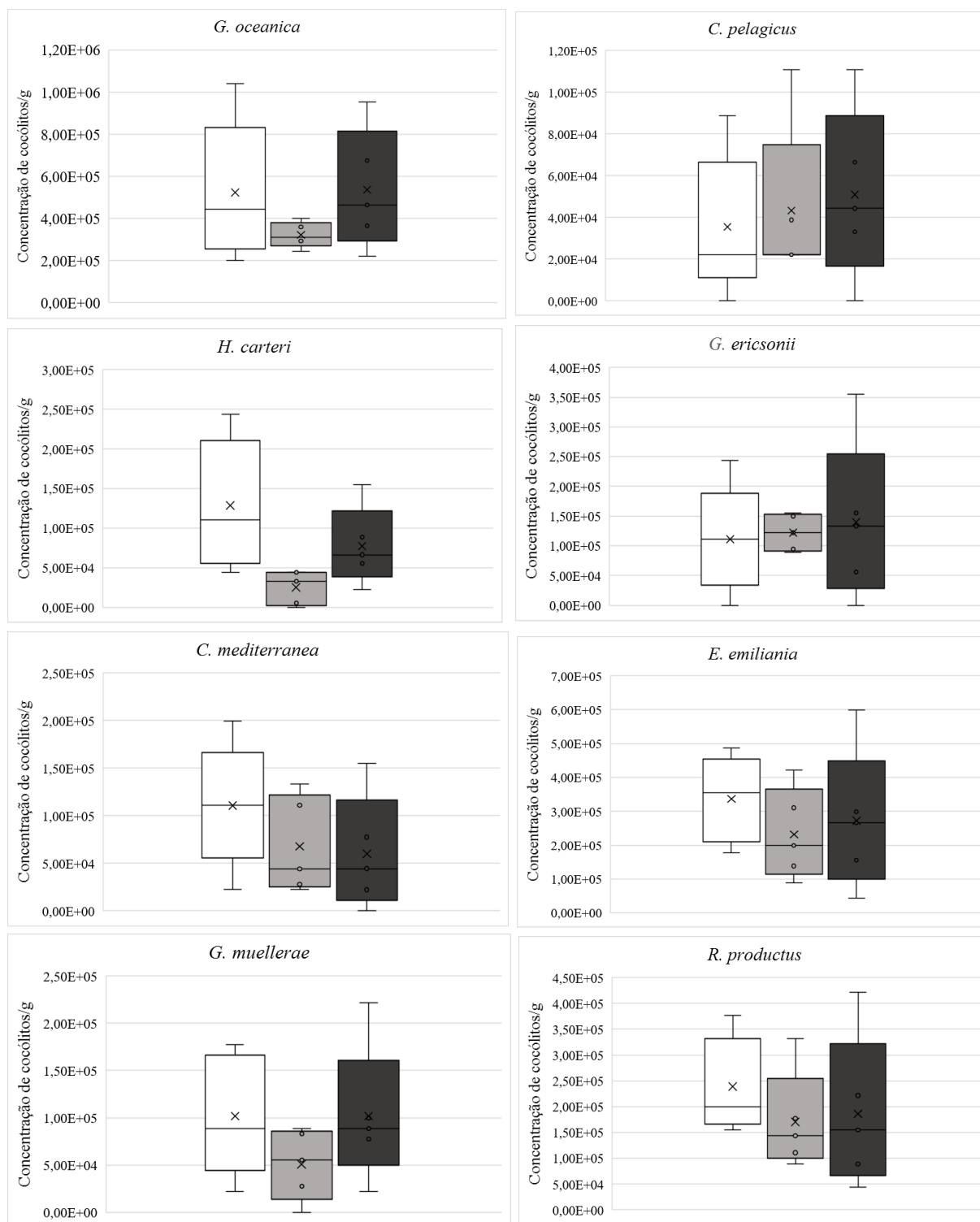
## Anexo H. Gráficos box-plot do nanoplâncton calcário do nível 0-2 cm

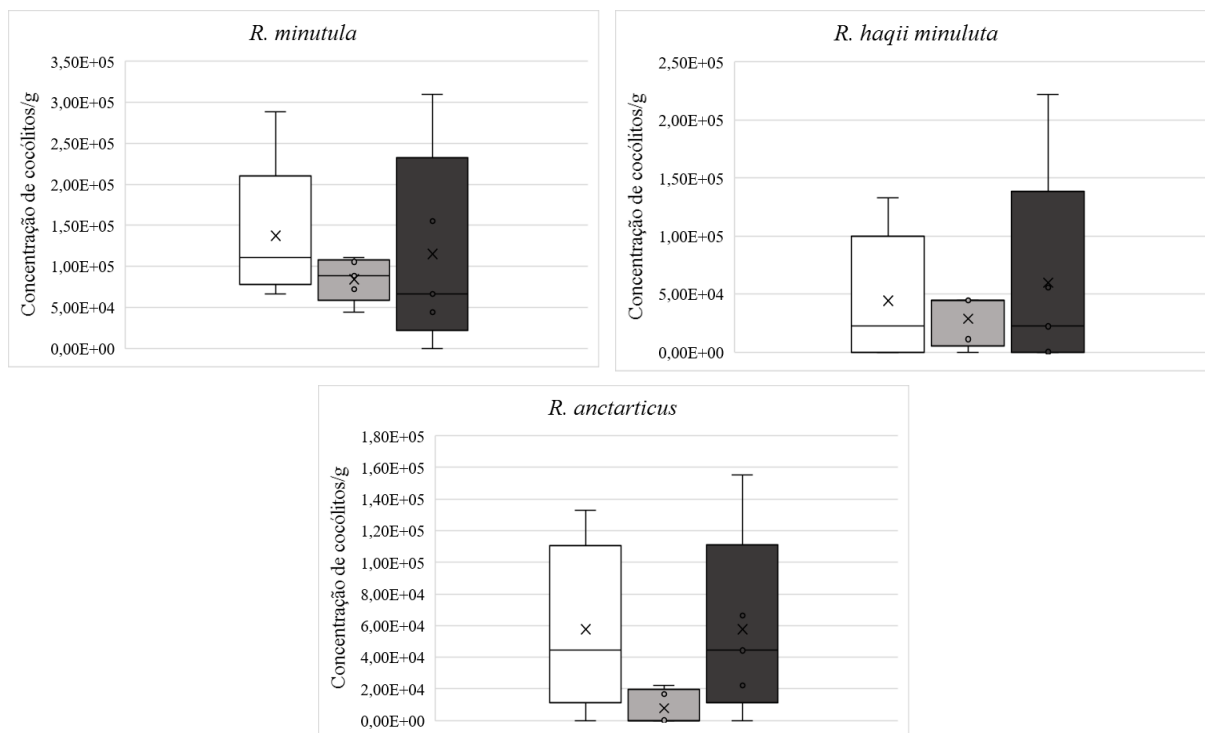




**Figura A.7.** Gráficos box-plot do nível 0-2 cm das espécies atuais e fósseis mais relevantes neste estudo, sendo os valores de concentração de cocólitos/g uma média das amostras que constituem a fase de enchente (#2, #3 e #4), estófo (#5 e #6) e vazante (#7, #8, #9, #10 e #11). (Legenda: barra branca- corresponde à fase de vazante, barra cinzenta – estófo da maré e, por fim, a barra preta – coincide com a fase de vazante)

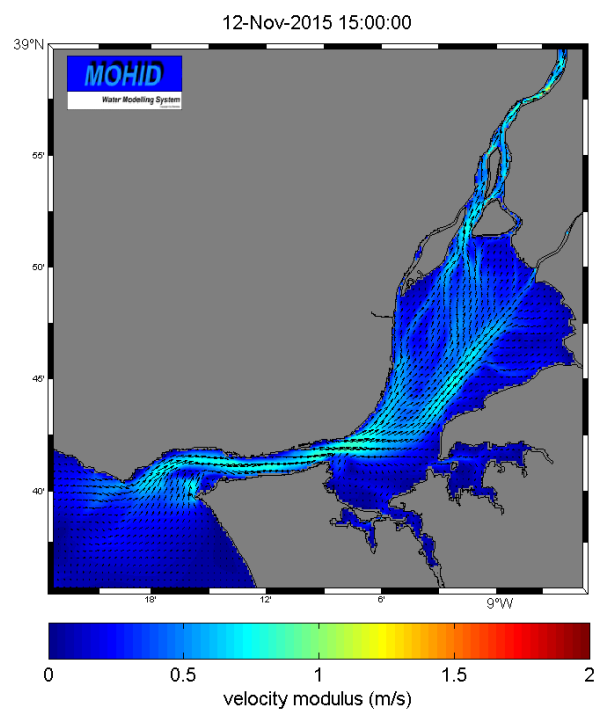
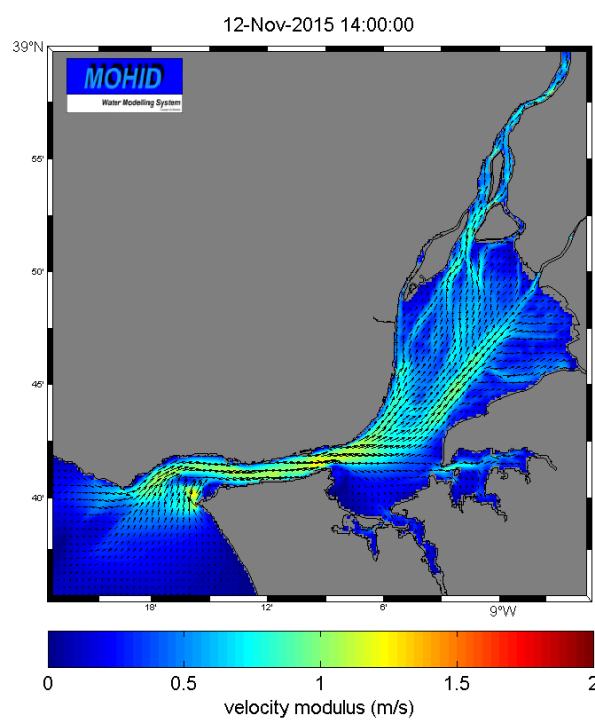
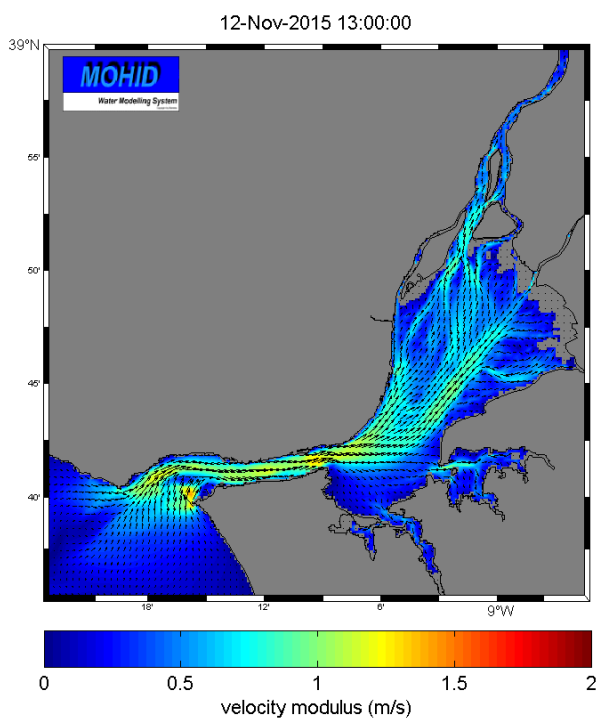
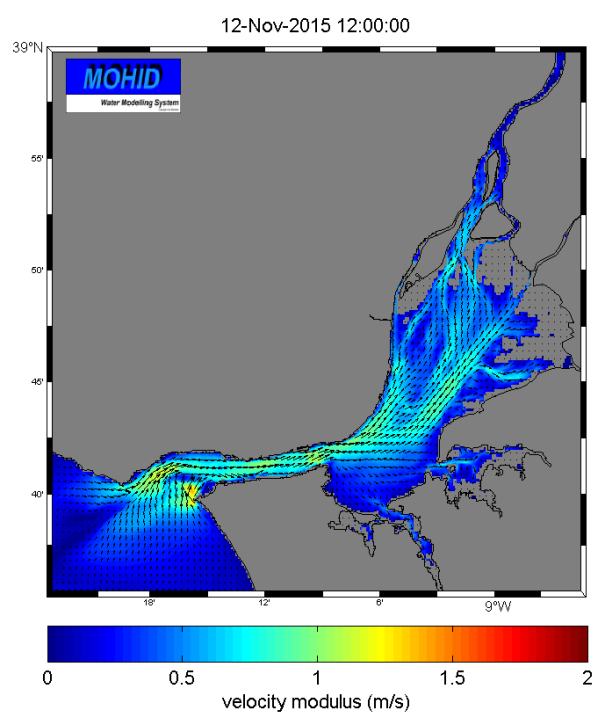
## Anexo I. Gráfico box-plot do nanoplâncton calcário do nível 2-4 cm

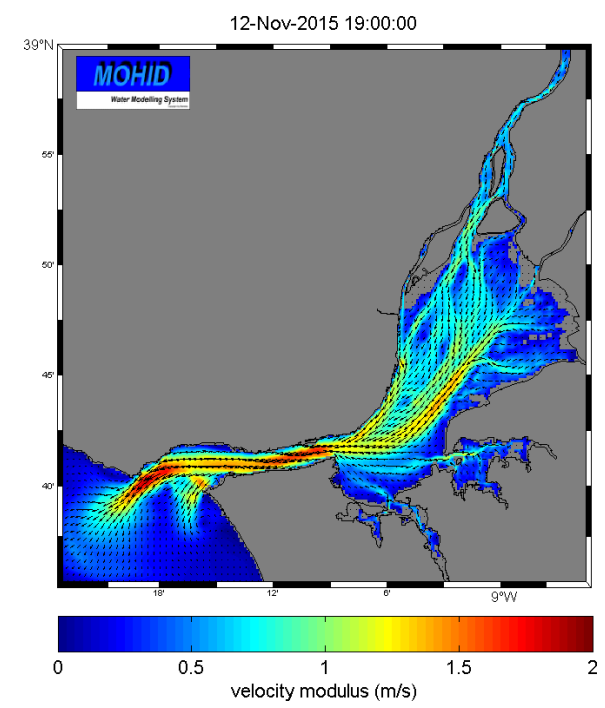
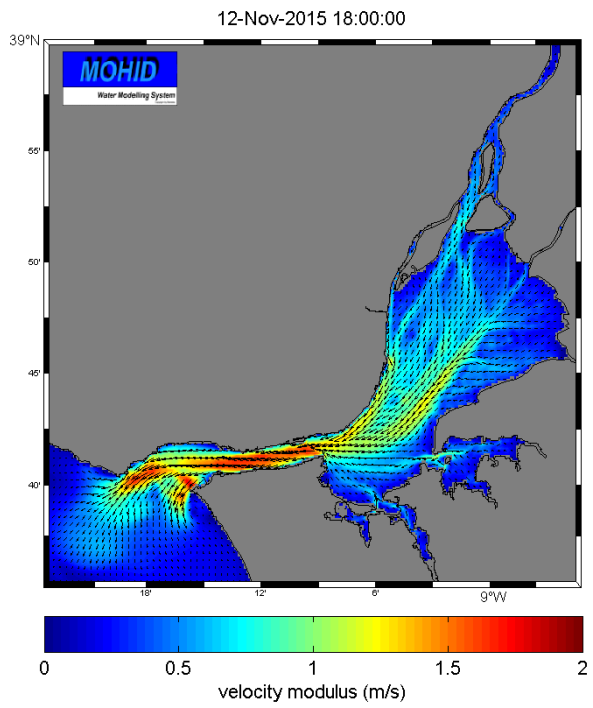
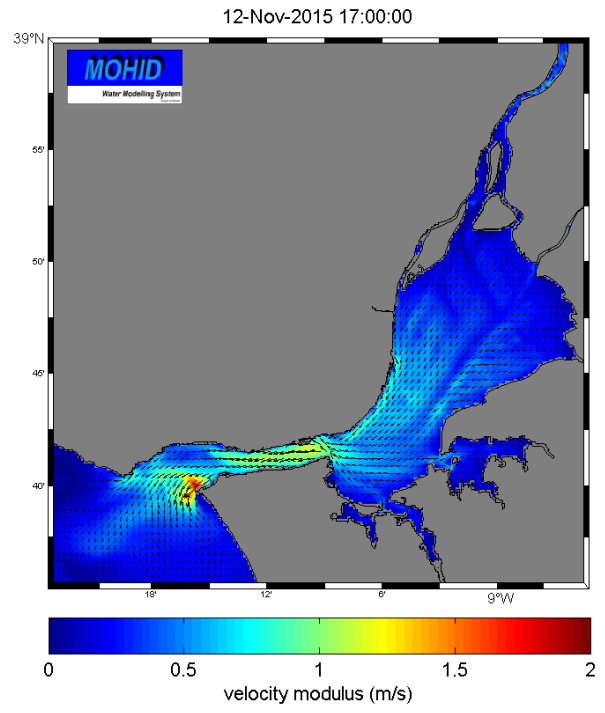
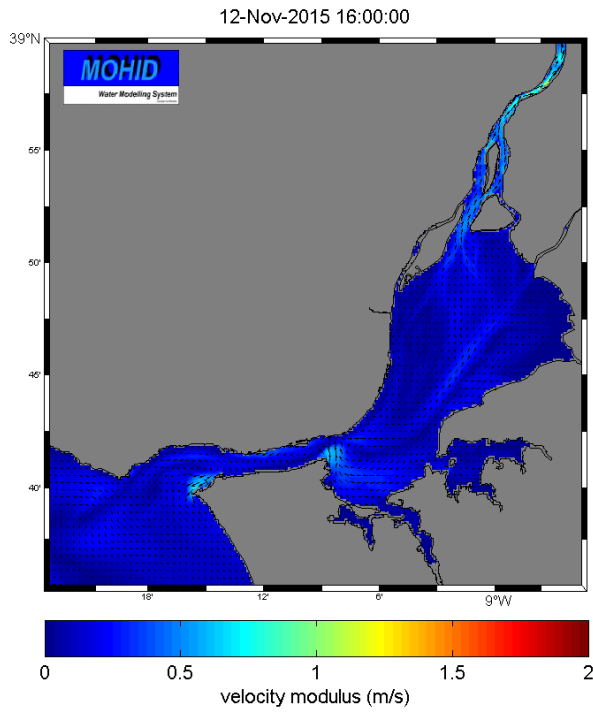




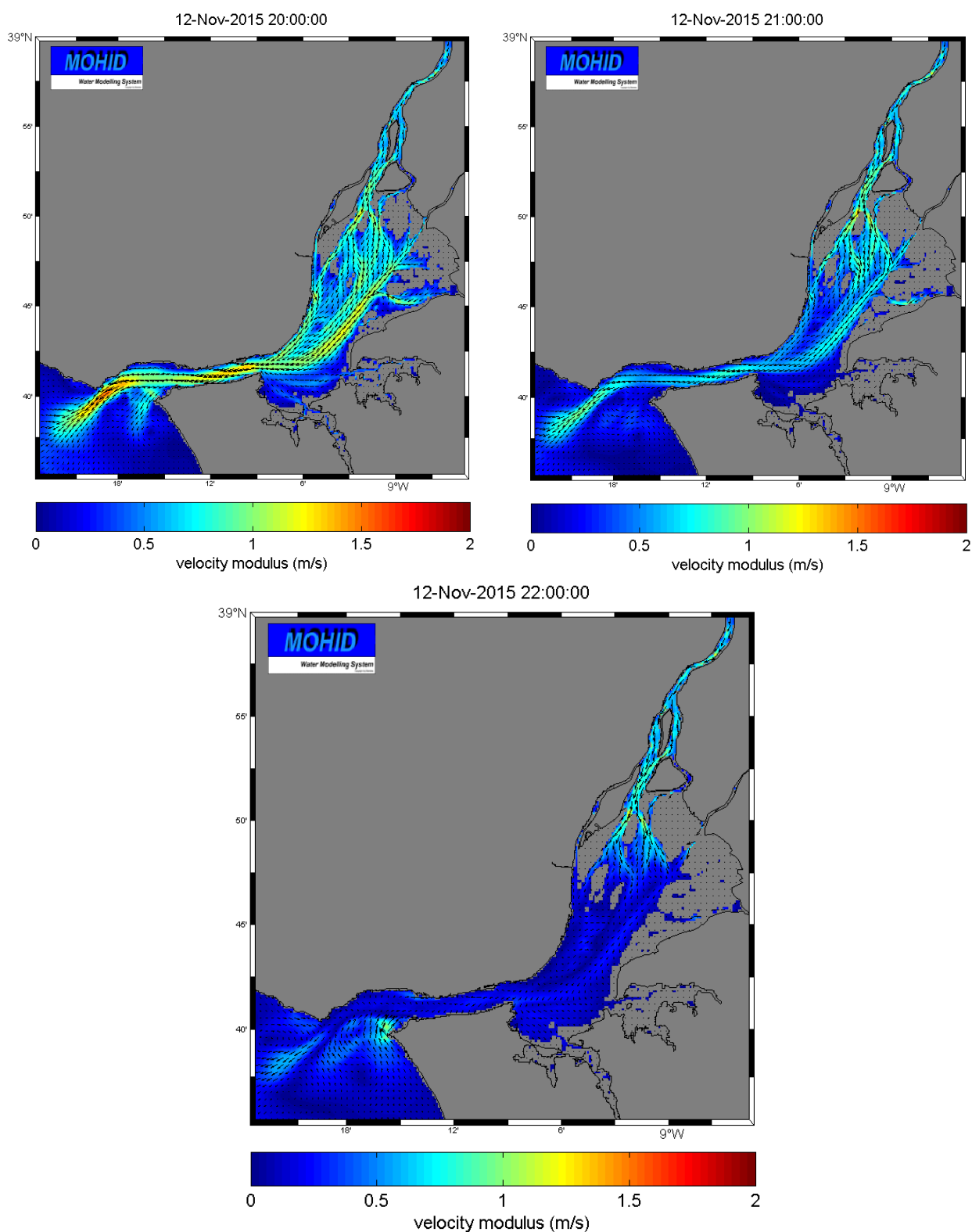
**Figura A.8.** Gráficos box-plot do nível 2-4 cm das espécies atuais e fósseis mais relevantes neste estudo, sendo os valores de concentração de cocólitos/g uma média das amostras que constituem a fase de enchente (#2, #3 e #4), estofo (#5 e #6) e vazante (#7, #8, #9, #10 e #11). (Legenda: barra branca- corresponde à fase de vazante, barra cinzenta – estofo da maré e, por fim, a barra preta – coincide com a fase de vazante)

## Anexo J. Imagens Modelo MOHID









**Figura A.9.** Imagens do modelo MOHID em que se fundamentou o modelo proposto para o nanoplâncton calcário na coluna de água retirado de <http://forecast.maretec.org/maps/> , nomeadamente o traçador da velocidade da corrente no dia 12 de novembro de 2015.

## Anexo K. Registo fotográfico mini-corers

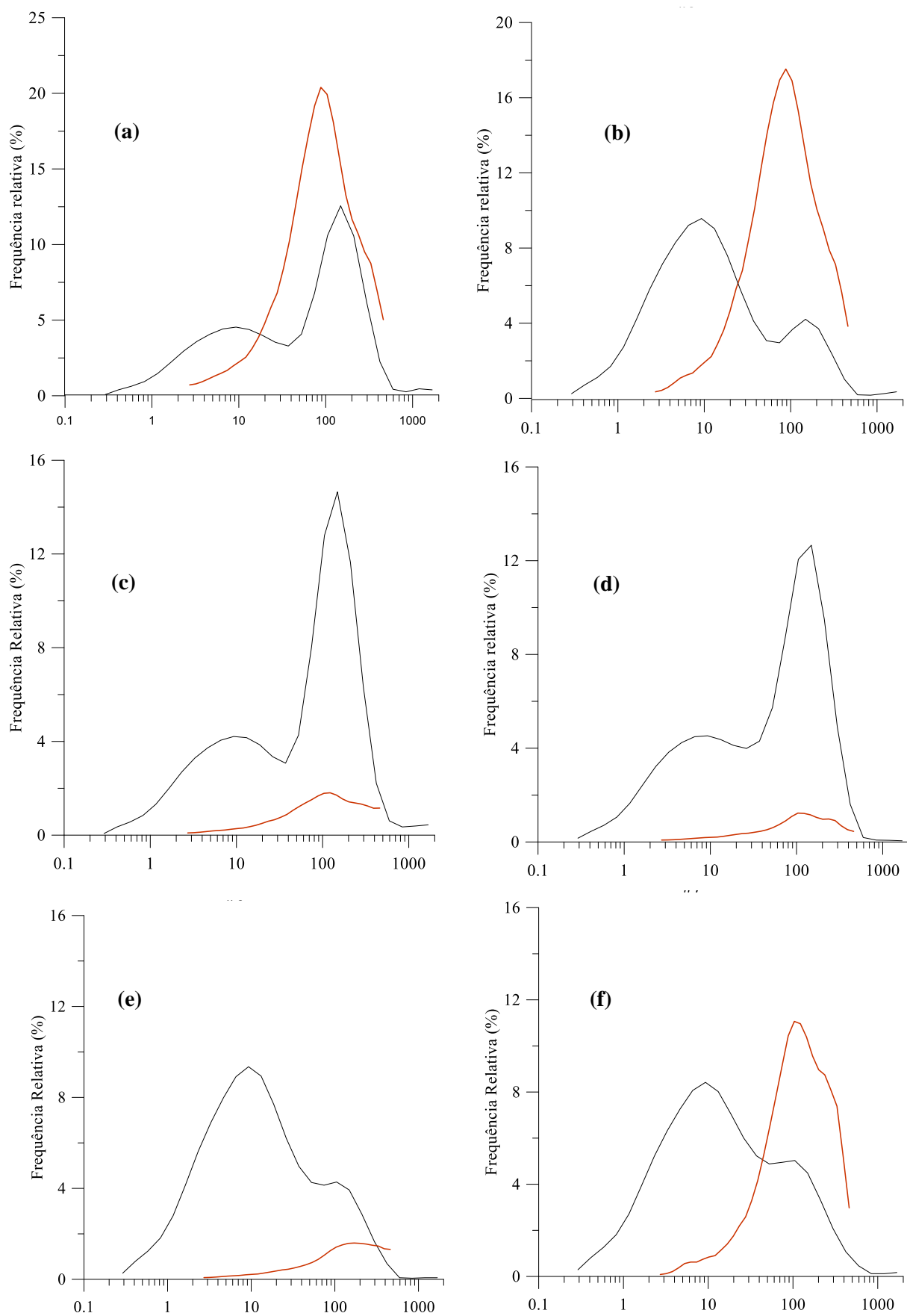


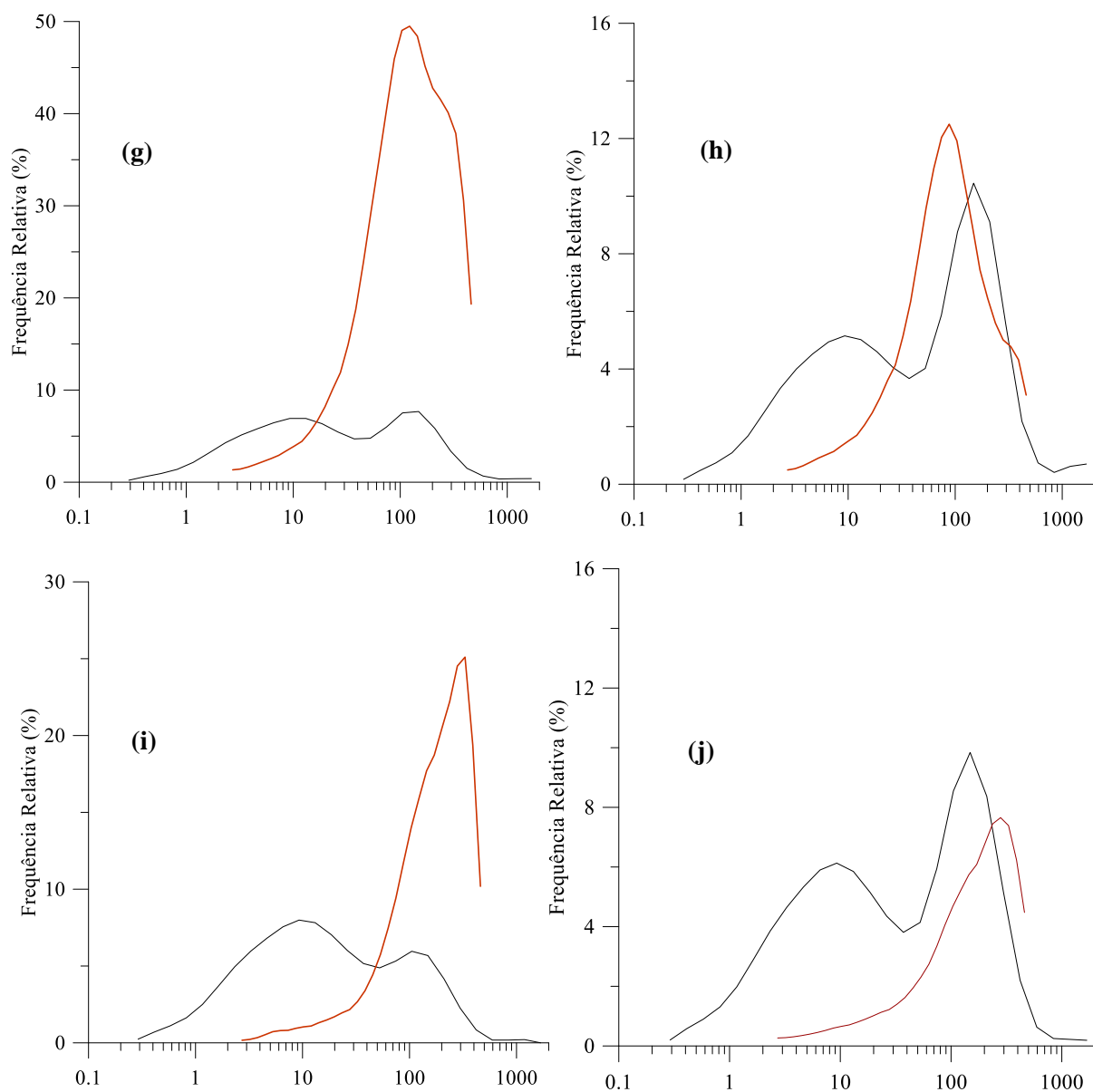


**Figura A.10.** Registro fotográfico efetuado a bordo do navio NRP Andrômeda da abertura de um dos mini-corer para cada uma das amostras colhidas: amostra #2 (a), amostra #3 (b), amostra #4 (c), amostra #5 (d), amostra #6 (e), amostra #7 (f), amostra #8 (g), amostra #9 (h), amostra #10 (i) e amostra #11 (j).



**Anexo L. Moda granulométrica das partículas em suspensão junto ao fundo vs. moda granulométrica sedimentos de fundo do nível 0-2 cm**





**Figura A.11.** Variação da moda granulométrica das partículas em suspensão junto ao fundo (obtidas através do LISST) e das partículas detríticas que constituem os sedimentos de fundo do nível 0-2 cm: amostra #2 (a), amostra #3 (b), amostra 4 (c), amostra #5 (d), amostra #6 (e), amostra #7 (f), amostra #8 (g), amostra #9 (h), amostra #10 (i), amostra #11 (j). Legenda: a linha a cheio vermelha representa a moda granulométrica das partículas em suspensão; a linha a cheio preta representa a moda dos sedimentos de fundo do nível 0-2 cm (Nota: existem diferenças nas escalas, isto porque existem estações em que há uma variação mais significativa).